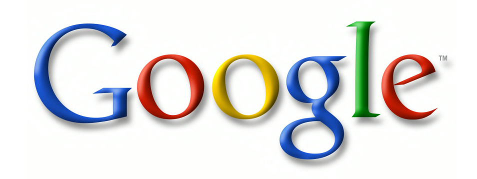
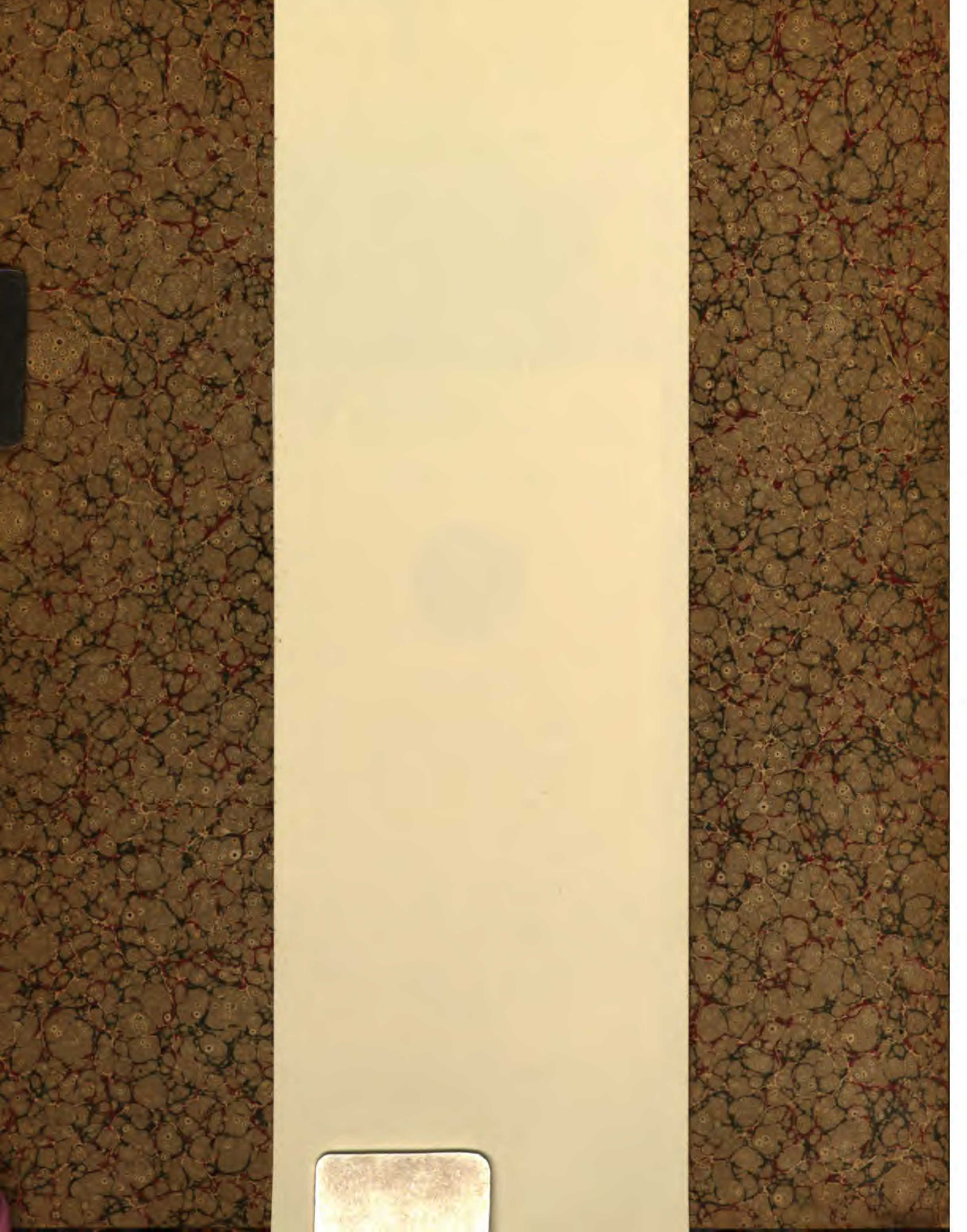








EXPÉRIENCES

SUR LE

TIRAGE DES VOITURES

ET SUR LES

EFFETS DESTRUCTEURS QU'ELLES EXERCENT SUR LES ROUTES.

Imprimerie de GUIRAUDET et JOUAUST, rue Saint-Honoré, 315.

EXPÉRIENCES

SUR LE

TIRAGE DES VOITURES

ET SUR LES

EFFETS DESTRUCTEURS QU'ELLES EXERCENT SUR LES ROUTES,

EXÉCUTÉES EN 1837 ET 1838 PAR ORDRE DU MINISTRE DE LA GUERRE,
ET EN 1839 ET 1841 PAR ORDRE DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS,

PAR

ARTHUR MORIN,

Chef d'escadron d'artillerie, Ancien élève de l'École Polytechnique, Professeur de mécanique industrielle au Conservatoire des arts et métiers, Membre de l'Académie royale de Metz, Membre correspondant de l'Académie royale des sciences de Berlin.

Paris,

LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE-INDUSTRIELLE
DE L. MATHIAS (AUGUSTIN),
QUAI MALAQUAIS, 15.

1842

AVANT-PROPOS.

La question du tirage des voitures se lie à tant d'intérêts publics et privés, qu'elle a depuis long-temps occupé les ingénieurs et les savants, et l'on doit être étonné que déjà elle ne soit pas résolue d'une manière, sinon positive, du moins assez approximative pour les besoins de la pratique.

L'industrie particulière, sans règles et sans principes fixes pour la construction de ses voitures, n'apprécie pas, d'après une expérience éclairée, l'influence des dimensions des roues et celle d'une suspension plus ou moins parfaite. Suivant des habitudes locales, elle préfère dans un pays les charrettes à grandes roues aux chariots à quatre roues; dans d'autres le léger chariot des Comtois avec ses quatre roues presque égales est exclusivement adopté, tandis qu'ailleurs on n'emploie que la lourde voiture à larges jantes et à petites roues de devant.

Sous le rapport de la conservation des routes les idées ne sont pas plus arrêtées; les auteurs et les ingénieurs qui ont écrit sur cette matière sont la plupart en divergence complète d'opinions. Les uns veulent laisser toute liberté à l'industrie pour charger ses voitures; d'autres, et c'est le plus grand nombre, pensent qu'il faut lui imposer des limites et des tarifs, dont la base à peu près uniforme est la largeur de la jante des roues. Quelques uns enfin pensent qu'au delà d'une limite assez peu élevée, il n'y a rien à gagner dans l'intérêt de la route à l'augmentation de la largeur des jantes.

Quant à la vitesse de transport, on la regarde en général comme nuisible aux routes, et l'on n'est pas d'accord sur l'influence préser-

vatrice des ressorts, quoique l'on admette qu'elle diminue le tirage aux allures vives.

On reconnaît que la grandeur du diamètre des roues a pour résultat de diminuer le tirage, mais on ne sait pas au juste dans quel rapport, et l'on ne songe pas assez que l'avantage qu'elle peut procurer à la puissance motrice doit aussi profiter à la conservation des routes.

On se demande comment, dans un pays qui possède un corps d'ingénieurs aussi habiles et aussi pénétré de ses devoirs que la France, cette question si importante pour la conservation des routes, malgré le nombre des éléments qui y exercent de l'influence, n'a pas encore reçu de solution.

La raison en est que jusqu'à ce jour on a attaché trop peu d'importance aux recherches à la fois expérimentales et scientifiques, qu'on n'a pas encouragé les hommes laborieux disposés à s'y livrer, et qu'on ne leur a presque jamais fourni libéralement les moyens d'exécution nécessaires. Et cependant quels fonds seraient plus utilement employés que ceux que l'on consacrerait à des études sérieuses sur les routes, sur le roulage, sur les machines locomotives, sur la navigation, sur la poussée des terres et des voûtes, et sur une foule d'autres questions de physique mécanique qui touchent de si près aux intérêts matériels et industriels du pays ?

N'est-il pas déplorable de voir les états les plus puissants de l'Europe se lancer à l'envi dans des constructions gigantesques de chemins de fer ou de bateaux à vapeur, sans qu'aucun d'eux songe à consacrer quelques faibles parcelles des richesses nationales qu'ils prodiguent, à des études sérieuses, approfondies, propres à faire connaître les relations qui lient les principaux éléments de ces questions. On ignore encore, ou du moins l'on n'apprécie en général aujourd'hui que par des méthodes incertaines ou inexactes, les relations qui lient la puissance motrice des bateaux à vapeur et des trains de wagons à la résistance qu'ils éprouvent, selon la vitesse de leur marche et les proportions de leurs roues; de graves erreurs sont même généralement répandues à ce sujet, et cependant on propose, on vote et l'on construit sans chercher à s'éclairer, et sans s'inquiéter si quelque immense catastrophe, semblable à celle du *Président*, ne viendra pas épouvanter

le monde, et faire, par une réaction aussi peu réfléchie que l'action l'aura été, abandonner des éléments de puissance, de richesse et de civilisation, qui peuvent changer l'état des sociétés modernes et les relations des peuples.

De tous les gouvernements le nôtre est néanmoins celui qui encourage le plus les recherches scientifiques, et si les crédits législatifs lui laissaient plus de latitude, il est probable que des moyens d'exécution et des facilités plus étendues seraient accordés aux hommes d'étude.

Le ministère de la guerre a, depuis quelques années, favorisé de la manière la plus libérale d'importantes recherches expérimentales dans lesquelles l'École d'application de l'artillerie et du génie de Metz a pris une large part. On lui doit déjà les belles expériences hydrauliques de MM. Poncelet et Lesbros, entreprises sur l'avis du comité du génie; depuis 1833, une commission d'officiers d'artillerie formée à Metz a reçu, sur la proposition du comité de l'artillerie, des moyens en quelque sorte illimités pour l'exécution de vastes expériences sur les principales questions de physique mécanique qu'offre l'action de la poudre. Un savant officier du génie, M. Ardant, professeur de constructions à l'École d'application, a exécuté d'intéressantes recherches relatives à son art. Enfin depuis l'année 1831, où j'ai commencé mes premières expériences sur le frottement, jusqu'à ce jour, les différents ministres de la guerre, sur l'avis du comité et du bureau de l'artillerie, m'ont donné les moyens d'exécution les plus étendus. Pour l'exécution des expériences sur la dégradation des routes, dont il m'a chargé de 1839 à 1841, le ministère des travaux publics n'a pas été moins libéral. Puissé-je être assez heureux pour qu'on trouve que cette confiance a été bien placée!

Je dois au surplus faire remarquer qu'officier d'artillerie, professeur à l'École d'application, j'avais dû m'attacher plus particulièrement d'abord à la question proprement dite du tirage des voitures qu'à ce qui concerne la conservation des routes, puisque le but spécial de mon travail était de fournir à la partie de l'enseignement dont j'étais alors chargé des données d'expérience qui lui manquaient.

Cette position particulière était au reste favorable pour l'étude impartiale de certaines parties de la question, et surtout pour tout ce qui pouvait être relatif à la dégradation des routes. N'étant en effet

sous l'empire d'aucune préoccupation d'état ni d'intérêt privé, n'apportant pas à la conservation des routes cet intérêt, en quelque sorte paternel, qui est dans le devoir de l'ingénieur des ponts et chaussées, et totalement désintéressé à l'augmentation ou à la diminution des chargements, je n'avais d'opinion préalable ni même de prévisions sur aucun résultat. La vérité seule, quelle qu'elle fût, et les moyens de la constater, m'intéressaient. Cette sorte d'indépendance morale est une circonstance heureuse dans de semblables recherches : car il est bien difficile de ne pas se laisser préoccuper malgré soi par ses intérêts, ou par certaines conditions de position ; et, en parlant de cette tendance naturelle à l'homme, je n'entends en faire un sujet de blâme pour personne, car je serais loin de me croire plus exempt qu'un autre de cette influence s'il s'agissait d'une question relative à mon état ou à mes études habituelles.

J'ai dit plus haut que les divers auteurs ou ingénieurs qui ont traité sous différents points de vue la question du tirage des voitures étaient partagés d'opinion sur les objets principaux, et pour justifier cette assertion, en même temps que pour montrer quel était l'état de cette question au moment où je m'en suis occupé, il ne sera pas inutile de donner ici un résumé succinct des divers ouvrages qui ont été publiés dans ces derniers temps sur cette matière.

M. Richard Lowell Edgeworth a inséré, en 1797, dans les Transactions de l'académie royale d'Irlande, les résultats de ses expériences sur les véhicules à roues, et une seconde édition de cet ouvrage a été publiée en 1817, sous le titre de *An essai on the construction of roads and carriages.*

Après quelques considérations préliminaires, l'auteur examine l'influence de la grandeur du diamètre des roues pour le passage des obstacles, et rapporte deux expériences qui confirment le résultat théorique connu, qui s'énonce, comme on sait, en disant que, *pour le passage des obstacles, la puissance des roues est proportionnelle à la racine carrée de leur diamètre.* Étendant cette conséquence aux terrains ordinaires, il en conclut qu'entre les limites habituelles, il n'y a pas grand avantage à augmenter les diamètres des roues, et réduit le principal avantage des grandes roues à la facilité qu'elles donnent pour vaincre le frottement des essieux. Toutefois il établit ailleurs que c'est

une erreur de regarder les petites roues comme préférables aux grandes dans les pays de montagnes, ainsi que le prétendaient alors quelques ingénieurs.

Relativement à la largeur des jantes, M. Edgeworth rapporte que, quand les actes du parlement eurent encouragé l'usage des jantes larges, en leur permettant des poids plus considérables qu'aux autres, les rouliers les adoptèrent, mais en donnant à la bande une forme convexe, de sorte que la roue en apparence à large jante n'agissait réellement sur la route que comme une roue plus étroite.

Il démontre ensuite que les roues coniques ou à essieux inclinés tendent, par l'inégalité de vitesse des différents points de la bande, à produire sur la route un glissement qui augmente la résistance et désagrège les matériaux. Ces conclusions sont confirmées par les expériences suivantes.

TABLEAU *des expériences faites par M. Cumming sur les roues coniques et cylindriques.*

NUMÉROS des expériences d'après l'ordre dans lequel elles ont été faites.	CIRCONSTANCES dans lesquelles les expériences ont été faites avec différentes sortes de voitures.	NOMBRE de poids nécessaire pour mettre la voiture en mouvement.	NOMBRE d'espaces dont la voiture avance après que le poids a cessé d'agir.
1	Les roues coniques posant sur toute leur largeur. . .	9	0 $\frac{1}{2}$
4	Les roues cylindriques *id.*	6	3 $\frac{1}{2}$
2	Les roues coniques posant sur un quart de leur largeur au milieu de la bande.	6	1
5	Les roues cylindriques *id.*	6	2
3	Les roues coniques posant sur deux bandes étroites sur les bords de leur jante	11	0
6	Les roues cylindriques *id.*	6	2 $\frac{1}{2}$

NOTA. L'auteur n'indique ni l'unité de poids ni celle de longueur.

TABLEAU *des expériences faites par M. Edgeworth sur les roues coniques et cylindriques.*

NUMÉROS	TEMPS	ESPACES ou longueur de la route.	DÉSIGNATION DES ROUTES, qui étaient toutes rendues exactement horizontales dans les deux sens.	POIDS de la voiture et de sa charge.	POIDS EMPLOYÉ avec des roues coniques de 8 po *un quart* de diamètre intér. et 6 po *trois quarts* de diamètre extér. et 4 po de largeur de bande.	POIDS EMPLOYÉ avec des roues cylindriques de 8 po *et demi* de diamètre et 4 po de largeur de bande.
1	10″	30pi	Route de planches de sapin polies.	60liv	3liv	2liv
2	10	30	Route en gravier légèrement tassée, semblable à une route de Hyde-Park pendant l'été	60	6 $\frac{1}{2}$	6
3	10	30	La même route récemment ratissée comme une nouvelle route en gravier	60	8	7
4	10	30	La même route avec de gros cailloux répandus à sa surface, comme une grande route neuve ordinaire	60	9	9

L'auteur conclut de ces expériences que l'on ne doit employer que des fusées et des roues cylindriques.

Plus loin, il établit que, par rapport à la largeur de la jante des roues, on peut, en général, affirmer que la roue la plus large est la plus avantageuse à la route, et qu'entre certaines limites la roue la plus étroite est la meilleure pour le voiturier.

M. Edgeworth a fait aussi des expériences sur un plancher de niveau d'une longueur de 75 pieds anglais, sur lequel il avait fixé des liteaux pour former des obstacles au passage d'un petit modèle de voiture à roues en bois de 7 pouces de diamètre, avec des essieux en acier poli, dans le but de reconnaître l'influence de la suspension sur la diminution de la résistance aux allures vives.

Il conclut de l'ensemble de ces expériences que l'avantage des res-

sorts croît avec la vitesse, et que la forme des ressorts n'est pas de grande conséquence, pourvu qu'ils soient suffisamment élastiques.

Nous ferons remarquer en passant et nous montrerons plus loin que les résultats de ces expériences sur l'accroissement de la résistance en fonction de la vitesse sont complétement d'accord avec les nôtres, mais qu'Edgeworth n'avait pas entrevu la loi simple qu'ils renferment.

Le même appareil lui a servi à examiner l'influence de la longueur et de la hauteur des voitures à deux trains sur la résistance et, il en conclut que « la différence en longueur ou hauteur, toutes choses éga-» les d'ailleurs, a peu d'influence sur la facilité plus ou moins grande » de les traîner, » et que les voitures courtes n'ont d'autre avantage que d'être plus faciles à conduire dans les villes.

Toutes ces expériences ont été faites en petit, sur des modèles dont la construction différait notablement des voitures ordinaires et, quelle que soit la justesse des conclusions qu'il en avait tirées, l'auteur reconnaît bien qu'elles sont si différentes des opinions admises avant lui et de celles des hommes qu'il appelle assez plaisamment « cette race obstinée » qui usurpe le titre de praticiens », qu'il est indispensable de les répéter sur des voitures et des routes ordinaires.

Coulomb, pour l'exécution de ses expériences sur la roideur des cordes, a été conduit à en faire quelques unes sur la résistance qu'éprouvent des rouleaux en bois sur un plan horizontal. De ces essais trop peu nombreux, puisqu'ils ne sont relatifs qu'à trois rouleaux de 2 pouces, de 6 pouces et de 12 pouces de diamètre, cet illustre physicien a conclu que la résistance au roulement est proportionnelle à la pression et inversement proportionnelle au rayon du rouleau.

Le comte de Rumford (*sir Benjamin Thompson*) a présenté à la première classe de l'Institut, le 15 avril 1811, un mémoire intitulé : *Observations sur l'avantage d'employer les roues à larges jantes pour les voitures de voyage et de luxe*. Ce travail est inséré dans la Revue Britannique, année 1816.

Ces expériences ont été faites avec une voiture de luxe suspendue, à laquelle on a adapté successivement trois paires de roues de devant et de derrière de largeurs différentes, mais à peu près de même diamètre.

Voici les données et dimensions fournies par l'auteur.

DIMENSIONS DES ROUES.									
	1res roues.			2es roues.			3es roues.		
	pi	o	li	pi	o	li	pi	o	li
Diamètre des roues de devant.	3	4	»	3	2	3	3	3	3
Diamètre des roues de derrière.	4	9	3	4	8	9	4	8	3
Largeur des cercles.		1	9		2	3		4	
		livres.			livres.			livres.	
Poids des roues de devant.	224			174			240		
Poids des roues de derrière.	226			258			360		
Poids des roues.	350			432			600		

La voiture avec son chargement a toujours pesé 2121 livres.

Les expériences ont été faites avec un peson à ressort et à aiguilles à différentes allures et sur diverses routes, les résultats en sont réunis dans le tableau suivant.

EXPÉRIENCES *du comte de Rumford sur l'influence de la largeur des jantes.*

DÉSIGNATION de la route.	LARGEUR des jantes.	ALLURES auxquelles les résistances ont été observées.			
		Petit pas.	Grand pas.	Petit trot.	Grand trot.
	po li	liv.	liv.	liv.	liv.
Grande route pavée de Versailles entre le pont de Sèvres, à Paris.	4 »	40 à 44	48 à 56	74 à 84	120 à 130
	2 3	44 à 48	56 à 60	84 à 96	130 à 140
	1 9	48 à 60	60 à 72	96 à 120	140 à 150
Sur l'accotement, en un endroit où le chemin était bon et peu sablonneux.	4 »	76 à 84	80 à 84	80 à 88	80 à 88
	2 3	80 à 92	80 à 96	82 à 100	82 à 100
Sur le même accotement, en un endroit un peu sablonneux.	4 »	92 à 100	»	100 à 110	»
	2 3	100 à 120	»	120 à 130	»
Sur le même accotement, en un endroit plus sablonneux.	4 »	120 à 130	»	120 à 130	»
	2 3	125 à 135	»	180 à 200	»
Sur le même accotement, en un endroit très sablonneux.	4 »	160 à 180	»	160 à 180	»
	2 3	180 à 200	»	180 à 200	»
Beau chemin de Saint-Cloud.	4 »	72 à 80	»	80 à 84	»
	2 3	80 à 84	»	82 à 84	»
Même route sur des cailloux nouvellement placés.	»	200 à 240	»	»	»
	»	220 à 280	»	»	»
Sables profonds du bois de Boulogne.	»	210	»	»	»
	»	260 à 280	»	»	»
En montant la route pavée d'Auteuil.	»	140	»	»	»
	»	150	»	»	»

Ces expériences indiquent que, sur le pavé, la résistance diminue à mesure que la largeur de la jante augmente. Mais il faut observer qu'elles ont été faites avec des jantes dont les plus larges n'avaient que 4 pouces ou $0^m,11$, et les plus étroites 1 pouce 9 lignes ou $0^m,048$, et sur le pavé arrondi des environs de Paris, dont les grandes dimensions et les intervalles forment autant de petites ornières dans lesquelles les roues étroites glissent dans le sens de la longueur des essieux, outre qu'elles en choquent les bords dans le sens du mouvement. Cet effet est tout différent de celui que produisent les jantes larges sur les routes compressibles, et l'augmentation de résistance

éprouvée par les jantes étroites provient ici seulement des chocs plus fréquents et plus intenses qu'elles éprouvent, ainsi que le montrent les résultats mêmes des expériences, où l'on voit l'avantage des jantes larges s'accroître avec la vitesse.

Les dimensions, la forme et le mode de pose du pavé, exerçant ici une influence immédiate sur les résultats, on ne peut en appliquer les conséquences à des pavés qui seraient beaucoup plus serrés ou plus unis.

Quant aux expériences faites sur des terrains compressibles, elles semblent montrer que l'avantage des jantes larges sur les petites n'est pas très grand quand le fond est solide.

Ce que ces expériences offrent de plus remarquable c'est qu'elles mettent en évidence l'accroissement de la résistance avec la vitesse sur les routes dures et sa constance sur les routes compressibles. Elles ont servi de base à presque tous les auteurs qui ont écrit sur cette matière ; et, chose singulière, aucun d'eux n'y a vu la véritable loi qu'elles manifestent, parce que tous, préoccupés de certaines idées théoriques adoptées *a priori*, en ont torturé les chiffres pour les faire cadrer avec des formules conformes à ces idées. Nous verrons plus loin que les résultats de ces expériences sont parfaitement d'accord avec ceux que j'ai obtenus.

M. de Gertsner, professeur à l'institut technique des états de Bohême, a publié en 1813 un mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux, dont la traduction a été faite par M. Terquem, bibliothécaire du dépôt central de l'artillerie, et publiée avec une introduction par M. Girard, membre de l'Institut.

L'auteur, raisonnant d'après l'hypothèse que la réaction du terrain augmente proportionnellement à une certaine puissance de la profondeur, établit une théorie dont il conclut :

1° Que la résistance provenant des ornières augmente dans un rapport plus grand que la charge, et qu'il est plus avantageux de partager la charge sur plusieurs voitures que d'en charger démesurément une seule ;

2° Que sur un terrain mou la résistance est plus considérable que sur un terrain dur ;

3° Que la résistance diminue lorsque le diamètre augmente ;

4° Que la résistance diminue par l'augmentation de la largeur des jantes.

Relativement aux routes dures sur lesquelles il y a des chocs, il déduit de ses formules :

1° Que la partie de la force de traction provenant des chocs est proportionnelle à la charge ;

2° Qu'elle est proportionnelle au carré de la vitesse ;

3° Qu'elle augmente en raison inverse de l'écartement du pavé, de milieu en milieu.

L'auteur établit ailleurs que « les frais de transport sont di- » minués, tant en pays de plaine qu'en pays de montagne, par » des routes bien solides, bien unies, et par l'adoption de grandes » roues ;

» Que la tangente de l'angle d'inclinaison du tirage pour les voitu- » res de roulage ordinaires doit être $\frac{1}{15}$ ou $\frac{1}{16}$, et qu'en général de pe- » tites roues et de mauvaises routes exigent des traits plus élevés que » de bonnes routes, de grandes roues, et des essieux bien tournés et » bien graissés. »

M. de Gertsner, discutant sous l'influence de ses idées théoriques les résultats des expériences du comte de Rumford, en conclut que, sur les routes dures, la résistance au tirage croît comme le carré de la vitesse ; et que, sur les terres, le sable et les pierrailles, la résistance est indépendante de la vitesse.

M. Navier, ce savant illustre à qui l'art de l'ingénieur doit tant et de si utiles recherches, a publié en 1835 un mémoire intitulé : *Considérations sur les principes de la police du roulage et sur les travaux d'entretien des routes*. Dans ce travail, il aborde la question avec la franchise de son caractère, et la discute en adoptant pour principe que l'industrie des transports ne doit pas avoir toute liberté dans ses chargements; il prend pour base unique des tarifs qu'on doit lui imposer la largeur de la jante de roue.

Il fait remarquer que, si ce principe est admis, le tarif du décret du 23 juin 1806, qui était alors le seul en vigueur, n'est pas exact. En effet, si l'on calcule d'après ce tarif les chargements par centimètre de largeur de jante, on trouve les résultats suivants ;

Tarif *des chargemens fixé pour le roulage par le décret du* 23 *juin* 1806, *et pour les messageries par la décision du directeur général des ponts et chaussées du* 19 *mai* 1816.

LARGEUR des jantes.	VOITURES A DEUX ROUES. Chargement				VOITURES A QUATRE ROUES. Chargement				CHARIOTS A VOIES INÉGALES. Chargement				MESSAGERIES. — Chargement d'été et d'hiver.	
	d'été.		d'hiver.		d'été.		d'hiver.		d'été.		d'hiver.			
	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.	TOTAL.	sur $0^m,01$.
m.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
0,08	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	2560	80
0,11	2700	123	2200	100	4000	91	3300	75	4400	100	3700	84	3520	80
0,14	4100	146	3400	121	5700	100	4700	84	6200	111	5200	93	4480	80
0,17	5800	170	4800	141	8100	119	6700	99	8800	129	7400	109	5440	80
0,22	»	»	»	»	10500	119	8700	90	11400	129	9500	108	»	»
0,25	8200	164	6800	136	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

On voit en effet que ce tarif permet des chargements bien plus forts à proportion aux roues de $0^m,17$ et surtout à celles des charrettes qu'à toutes les autres; et M. Navier attribue à cette différence l'usage presque général où sont les rouliers de Normandie de se servir de charrettes de $0^m,17$ de largeur de jantes, sans remarquer que, ces voitures ayant de grandes roues, elles sont beaucoup plus faciles à tirer que les chariots ordinaires à quatre roues.

Cet ingénieur trouve les chargements permis aux roues de $0^m,17$ trop forts, et propose pour le roulage un tarif uniforme basé sur la largeur de la jante, à raison de 120 kil. pour l'été et 100 kil. pour l'hiver; mais il réduit cette base à 80 kil. en toute saison pour les messageries.

Examinant ensuite l'influence de la vitesse sur la résistance au tirage et sur la dégradation des routes, il rappelle et soutient les conclusions de la commission d'ingénieurs nommée le 31 juillet 1832 pour la préparation de la loi sur la police du roulage présentée en décembre de la même année, et par lesquelles, tout en admettant que

l'emploi des ressorts doit contribuer à diminuer l'accroissement de la résistance et des dégradations provenant de l'augmentation de la vitesse, cette commission conclut que l'effet destructeur des chocs produits par les diligences allant au trot est une fois et demie à une fois trois quarts plus grand que pour les voitures de roulage.

M. Brisson, inspecteur des ponts et chaussées, dans un rapport rédigé en 1828, avait dit précédemment que « la vitesse de la marche d'une voiture avait pour la chaussée qu'elle parcourt des conséquences différentes selon l'état de cette chaussée, et il avait donné pour résultats des expériences faites en 1816 par une commission d'ingénieurs les conséquences suivantes :

1° Sur les chaussées en empierrement ou en gravelage en bon état, une voiture menée au trot fait moins de mal qu'au pas. Elle en fait plus au contraire quand les chaussées sont en mauvais état.

Nous verrons que dans tous les cas sur les routes en empierrement a résistance et, par suite, les dégradations croissent avec la vitesse, toutes choses étant égales d'ailleurs.

2° Sur les chemins en pavés d'échantillon, les effets immédiats du pas et du trot n'ont pu être distingués. Cependant le pas paraît préférable en ce qu'il ne produit pas de fortes commotions, qui ébranlent et détériorent à la longue les chaussées les plus solides.

3° Les chaussées pavées en blocage ou en pierres irrégulières sont celles où le trot est le plus nuisible, relativement au pas.

Les conclusions de cette commission, auxquelles M. Navier paraît donner son assentiment, sont qu'on ne doit pas admettre pour les voitures conduites au trot des poids aussi considérables que pour les voitures ordinaires de roulage menées au pas; et, dans une autre partie de ce rapport, on propose d'assimiler les diligences aux voitures de roulage allant au trot, malgré l'avantage des ressorts.

A la suite de son mémoire, M. Navier rapporte les résultats de l'enquête parlementaire faite en Angleterre en 1831 par la chambre des communes, relativement aux routes, et ceux de l'interrogatoire des ingénieurs les plus consommés dans l'art de construire et d'entretenir les routes.

Parmi les sujets principaux qui font l'objet de cette investigation nous examinerons principalement ce qui concerne l'influence de la

largeur des jantes et celle de la vitesse : quant à celle du diamètre des roues, il est remarquable qu'il n'en soit pour ainsi dire pas fait mention.

M. James Mac Adam, l'auteur du système de construction des routes qui porte son nom, s'exprime en ces termes :

« En ayant seulement égard à l'intérêt de la route, je préférerais une roue de 4 pouces et demi, $0^{m},114$, *à bandes plates*, à aucune autre espèce de roues qui pût être faite, étant d'opinion qu'une bande de plus grande largeur ne peut jamais toucher la surface d'une grande route bien faite. » Et il ajoute : « Au delà de cette limite, je ne pense pas qu'aucune augmentation de largeur fût utile. »

Le même ingénieur dit qu'il regarde la diligence, telle qu'on la charge, comme la voiture qui fait le plus de mal aux routes ; mais il faut observer qu'en Angleterre ces voitures ont généralement des bandes de roues de $0^{m},051$ à $0^{m},060$ seulement et pèsent en tout environ 2031 kil., ce qui établit une charge moyenne de 100 à 85 kil. par centimètre de largeur de jante.

Il fait remarquer que des bandes arrondies ont sur la route le même effet que des bandes d'une largeur égale à celle de la partie restée plate.

M. J. Mac Neill, interrogé sur la forme la plus convenable aux essieux, regarde les essieux cylindriques parfaitement rectilignes et les roues droites comme très avantageux, parce qu'il n'y a pas de glissement sur le sol.

Il pense que l'usage des ressorts diminue le tirage, sans indiquer si cet avantage est aussi grand à toutes les vitesses.

Cet ingénieur propose le tarif suivant.

TARIF *de chargement proposé au comité d'enquête de la chambre des communes par M. J. Mac Neill.*

DÉSIGNATION des voitures.	VITESSES en lieues de 4000^m à l'heure.	POIDS moyen	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur chaque roue.	PRESSION sur chaque centimètre de largeur.
	lieues.	kil.	m.	kil.	kil.
Malles-poste. . . .	3,6 à 4,4	2031	0,057	503	89
Diligences.	3,2 à 4,4	2539	0,051	635	125
Fourgons.	2,4 à 2,8	4570	0,064	1143	179
Chariots.	1 à 1,2	6094	0,229	1524	67
Chariots.	1 à 1,2	4570	0,152	1145	75
Chariots.	1 à 1,2	3555	0,102	889	89

Ce tarif permet donc aux fourgons non suspendus ou beaucoup moins bien suspendus que les diligences, et allant au trot, des chargements bien plus forts qu'aux diligences et aux malles-poste.

Relativement à l'influence de la vitesse pour augmenter le tirage, M. J. Mac Neill donne une formule empirique pour représenter les résultats de ses expériences sur la route de Londres à Shrewsbury ; cette formule indique une augmentation de la résistance proportionnelle à la vitesse. Mais, d'après les valeurs qu'il donne pour le rapport de l'accroissement de la résistance à la vitesse, il s'ensuivrait que cette augmentation serait beaucoup plus considérable sur une route en empierrement que sur le pavé, et croîtrait à mesure que l'humidité et la boue rendraient le sol plus mou, ce qui est en désaccord complet avec les résultats que nous rapporterons plus loin. On verra ailleurs que les accroissements de la résistance observés par cet ingénieur sur une route en empierrement suivent la loi simple que j'ai déduite de l'expérience.

M. Coriolis, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a inséré dans les *Annales des ponts et chaussées* plusieurs notices relatives aux routes et au tirage des voitures.

Dans l'une d'elles, en cherchant à apprécier directement l'influence

du diamètre, de la largeur de jante et de la pression, sur le tirage, et partant de l'hypothèse que la résistance du sol est proportionnelle au degré de l'enfoncement, ce savant ingénieur arrive à une formule qui exprime que la résistance au tirage augmente plus rapidement que la pression, et qu'elle est en raison inverse de la puissance $\frac{2}{3}$ du rayon, et de la puissance $\frac{1}{3}$ de la largeur de la bande.

Ces résultats, déduits d'une hypothèse que l'auteur n'a admise que comme un moyen de se faire une idée approximative de la marche des effets, ne s'accordent pas tout à fait avec l'expérience, mais ils s'en rapprochent cependant assez, et l'on en pourrait tirer au moins ces conclusions, que l'influence de la grandeur du rayon pour la diminution de la résistance, et par suite pour celles de dégradations, est beaucoup plus sensible que celle de la largeur de la bande de roue.

Relativement aux chaussées pavées, les mêmes considérations conduisent M. Coriolis à conclure que, sur les chaussées pavées, le travail consommé par le tirage diminue lorsqu'on augmente les dimensions des pavés. En cela nos conclusions sont d'accord avec celles de ce savant géomètre, avec cette restriction, qu'il a sans doute implicitement admise, que le pavé serait mieux posé que celui de Paris et ne serait pas exposé, par la largeur démesurée des joints, à s'arrondir et à présenter une surface aussi inégale et aussi raboteuse ; et surtout que ses éléments, convenablement serrés et rapprochés, ne seraient pas exposés à glisser, les uns par rapport aux autres, sous l'action de la pression.

M. Dupuit, habile ingénieur des ponts et chaussées, a publié en 1837 un essai sur le tirage des voitures et sur le frottement de seconde espèce. Le travail de cet ingénieur est remarquable par l'esprit de méthode et d'observation que l'auteur y a développé, et contient beaucoup de réflexions fort justes. Les expériences ont été faites avec un peson ordinaire à ressort et à cadran, les flexions étant indiquées par une aiguille dont les oscillations continuelles rendent, comme on sait, l'observation très difficile. Ce défaut de l'instrument me paraît une explication suffisante des différences qui se manifestent entre les résultats obtenus par cet ingénieur et ceux que m'ont donnés mes dynamomètres à style, dont il ne paraît pas qu'il connût alors la construction.

Par un autre système d'expérimentation qui lui est propre, mais

dont l'exactitude m'a semblé contestable, et surtout par des considérations théoriques, le même ingénieur est arrivé à des conclusions fort différentes des miennes, surtout en ce qui concerne l'influence des diamètres sur l'intensité du tirage. La discussion qui s'est engagée à ce sujet entre lui et moi a été portée devant l'Académie des sciences. Je ne la reproduirai point dans cet ouvrage, et je me bornerai à renvoyer le lecteur à l'examen des résultats des expériences et au jugement prononcé récemment par l'illustre société.

Quoique mes expériences attribuent à la grandeur du diamètre des roues une influence plus grande que celle que M. Dupuit a conclue des siennes, il est néanmoins juste de reconnaître que, parmi les auteurs qui ont écrit sur cette matière, cet ingénieur est celui qui a le plus insisté sur l'importance de cette dimension pour la diminution du tirage.

M. Dupuit déduit de ses expériences les conséquences suivantes :

Le frottement de roulement est,

Sur toutes les espèces de surfaces,	Indépendant de la pente de la surface. Proportionnel à la pression. En raison inverse de la racine carrée du diamètre.
Sur les surfaces unies, molles ou dures,	Indépendant de la vitesse. Indépendant de la largeur de la bande. Indépendant de la suspension.
Sur les surfaces unies et molles,	Diminué par le nombre de roues lorsque la voie est la même.
Sur les surfaces uniformément raboteuses,	Augmenté par la vitesse pour les voitures non suspendues. Diminué par la suspension, d'autant plus que la vitesse est plus considérable. Diminué par la largeur de la bande jusqu'à une certaine limite dont on approche sans cesse. Indépendant du nombre de roues pour la voiture non suspendue (*résultat douteux*). Diminué par le nombre de roues pour la voiture suspendue (*résultat douteux*).

Le même ingénieur, remarquant avec raison que les bandes de roues s'arrondissent promptement, montre par des exemples qu'au bout de quelque temps des bandes de $0^m,17$, $0^m,14$ ou $0^m,11$, sont tellement déformées, que la partie rectiligne de leur profil est réduite à $0^m,06$ ou à $0^m,07$; et, observant que, par suite de cette déformation, la portion comprimée de terrain se trouve extrêmement réduite, il arrive à cette conséquence que l'intérêt de la conservation de la route est presque étranger à la fixation de la largeur de la bande de roue. Nous verrons plus loin que cette conclusion n'est pas d'accord avec les résultats de l'expérience.

Beaucoup d'autres ingénieurs ont écrit sur la construction, sur l'entretien des routes et sur les questions qui se rattachent à la police du roulage, mais sans s'occuper spécialement de celle du tirage des voitures, qui a fait l'objet principal de mes premières recherches ; je ne crois pas en conséquence devoir analyser ici leurs opinions, comme je l'ai fait pour les travaux qui se rapprochent davantage du mien. En résumé l'on voit :

1° Que l'opinion dominante parmi les ingénieurs chargés de l'entretien des routes en France et en Angleterre est qu'il faut limiter les chargements ;

2° Qu'en France les ingénieurs des ponts et chaussées admettent en général que l'on doit prendre pour base du tarif la largeur des jantes, tandis que les ingénieurs anglais et quelques ingénieurs français pensent qu'au delà de $0^m,10$ à $0^m,12$ de largeur tout accroissement est une surcharge inutile pour la voiture et sans profit pour la route ;

3° Que la plupart des ingénieurs qui ont fait des expériences sur cette question, à l'exception de M. Dupuit, n'ont attaché que fort peu d'importance à la dimension du diamètre des roues, sous le rapport de la facilité qu'il peut procurer à la puissance motrice, et qu'aucun d'eux ne s'est occupé de l'influence principale de cette dimension sur la dégradation des routes par désagrégation ;

4° Que la loi de l'accroissement de la résistance à mesure que la vitesse augmente n'a pas encore été bien établie, quoiqu'elle fût implicitement exprimée par les résultats des expériences du comte de Rumford et par celles de M. J. Mac Neill ;

5° Que, si l'on a reconnu que la suspension des voitures atténuait

d'autant plus l'accroissement de la résistance correspondant à celui de la vitesse sur les routes dures, que les voitures étaient plus douces, on a en général négligé d'en tirer cette conclusion si naturelle, que les effets destructeurs produits sur les routes devraient suivre la même progression, et qu'il pourrait par conséquent arriver que les voitures suspendues, mues rapidement, ne dégradassent pas plus les routes que les chariots non suspendus allant au pas (1).

Tel était l'état de la question du tirage des voitures, et le point où la prit le premier Mémoire que je présentai à l'Académie des Sciences en 1838.

Ce travail était projeté depuis long-temps, car les expériences dont il était question dans ce Mémoire étaient l'objet principal que je me proposais d'étudier, lorsqu'en 1831 j'entrepris, sur le frottement, les recherches dont les résultats ont été présentés à l'Académie des Sciences, et imprimés, par son ordre, dans le Recueil des savants étrangers. Cette étude préliminaire du frottement de glissement, par l'étendue que j'ai été obligé de lui donner, a exigé plusieurs années; et, quel que fût mon désir d'étudier la question du tirage des voitures, il était indispensable que celle du frottement de glissement fût auparavant complétement résolue. En effet, on ne peut faire des expériences sur le tirage des voitures qu'avec des corps mobiles autour d'un axe de rotation, et, dans ce mouvement, il se produit toujours entre l'axe et ses boîtes un frottement de glissement dont il est indispensable de tenir compte.

En commençant, en 1831, par le frottement de glissement, je me proposais surtout de vérifier les lois trouvées par Coulomb, et ne m'attendais pas qu'il faudrait refaire en entier son travail sur des bases nouvelles et bien plus étendues. Une fois engagé dans cette recherche, j'ai dû la continuer jusqu'à la fin, pour la rendre complète, et l'appliquer à tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique des constructions de tous genres. Sentant l'utilité de la solution de cette question, je n'ai pas reculé devant l'immensité du travail qu'exigeait le relèvement détaillé de plus de 3000 courbes qu'il fallait développer et construire par

(1) M. Coriolis est à peu près le seul qui ait indiqué cette conséquence dans une note *Sur les circonstances qui influent sur le tirage*, etc. (Annales des ponts et chaussées.)

points. Grâce aux moyens d'exécution qui m'ont été si libéralement fournis par le Ministre de la Guerre, je suis enfin parvenu, après quatre années, à terminer cette première partie, et, dès l'année 1835, j'ai pu commencer à m'occuper du frottement de roulement.

Pour en découvrir les lois, j'employai d'abord un appareil particulier, que je décrirai plus tard. Mais le relèvement et la discussion des expériences me montrèrent bientôt que, malgré tous mes soins et toute la précision des moyens d'observation, l'influence des masses mises en mouvement était telle, que, dans tous les cas où la résistance était très faible, il devenait impossible d'en apprécier la valeur avec exactitude par ce moyen. Je fus donc obligé de renoncer à l'employer et de recommencer une portion considérable de mon travail.

Ce n'est qu'en 1837 que j'ai pu reprendre cette étude par des moyens nouveaux, et en perfectionnant les instruments, de manière à pouvoir opérer sur les grandes routes avec des voitures pesamment chargées, et dans toutes les circonstances ordinaires de la pratique.

Le premier mémoire, présenté en 1838 à l'Académie des sciences, obtint, sur le rapport d'une commission composée de MM. Arago, Poncelet et Coriolis, l'approbation de cette illustre société, qui, en exprimant le désir que je continuasse à trouver dans l'appui du gouvernement les moyens d'étendre mes expériences, ordonna que ce mémoire serait imprimé dans le recueil des savants étrangers.

Ce jugement appela l'attention de M. le directeur général des ponts et chaussées, et celle de la commission de la Chambre des députés, alors saisie de l'examen du projet de loi sur la police du roulage, déjà adopté par la Chambre des pairs. Après plusieurs conférences, il fut reconnu que, si les objections élevées dans ce mémoire contre les bases de la réglementation proposée dans le projet avaient encore besoin d'être confirmées par des expériences plus spécialement dirigées dans la vue d'apprécier les effets destructeurs exercés par les voitures sur les routes, elles étaient au moins fondées sur des faits assez nombreux et sur des déductions assez rationnelles pour engager à ajourner la solution et l'adoption de la loi.

Ami sincère de la vérité, désireux de la donner pour base à l'importante loi qui devait régir une industrie si intimement liée à toutes les autres, supérieur aux idées étroites d'un faux esprit de corps,

M. Legrand pensa que celui des ingénieurs des ponts et chaussées, si riche en hommes de science et de talent, accepterait volontiers le concours d'un officier d'artillerie, auquel les ressources en personnel et en matériel dont dispose le ministère de la guerre rendrait, sous tant de rapports, l'exécution des expériences en grand plus facile qu'à un ingénieur. En conséquence, sur la demande de M. le ministre des travaux publics, je fus détaché auprès de son ministère pour diriger ces expériences. Un détachement de canonniers et de chevaux d'artillerie, les ressources en ouvriers, en matériel et en agrès, de l'arsenal de Vincennes, un crédit suffisant, furent mis à ma disposition. Je fus chargé seul de la direction des expériences, conformément à un programme que j'avais présenté, et une commission spéciale d'ingénieurs fut nommée pour recevoir les résultats successivement obtenus.

En conséquence, dès le mois de février 1839 je m'occupai activement des préparatifs des expériences, qui commencèrent en mars et ne furent terminées qu'à la fin d'octobre de la même année.

Mais, outre les recherches des effets destructeurs des routes, je devais aussi m'occuper de vérifier, d'étendre les résultats de mes précédentes expériences, dont quelques uns étaient vivement contestés, et contre l'exactitude desquels des objections sérieuses, en partie fondées, avaient été adressées à l'Académie des sciences.

Au mois de janvier 1840, je remis un second mémoire à M. le ministre des travaux publics et le présentai à l'Académie. Ce nouveau travail contenait des expériences plus nombreuses que le premier sur l'influence des diamètres, sur la résistance au roulement, d'où je concluais de nouveau, conformément au précédent, quoique d'une manière moins absolue et comme règle suffisamment exacte pour la pratique, que cette résistance variait en raison inverse du diamètre des rouleaux. Quelques autres expériences sur l'influence de la largeur des jantes et de la vitesse confirmaient aussi les résultats obtenus en 1838. Dans le courant de l'année 1840 je joignis à ce mémoire quelques expériences faites avec un appareil semblable à celui de Coulomb, et plus tard je répétai à Paris une partie de ces expériences et j'en fis de nouvelles sur l'influence de la pression, sur la résistance au roulement sur le bois et sur les routes pavées ou en empierrement.

Les résultats des expériences de 1839 sur les effets destructeurs pro-

duits par lès voitures sur les routes en empierrement ayant confirmé et étendu les conséquences que j'avais déduites de celles de 1838, je fus de nouveau, sur la proposition expresse de la commission de la police du roulage, invité par M. le ministre des travaux publics à entreprendre quelques nouvelles séries d'expériences, dans lesquelles, en partant des résultats précédents, on se proposait pour but de déterminer directement les proportions à établir entre les chargements et les dimensions des roues des voitures.

Un programme fut rédigé à cet effet et soumis à la commission; les mêmes moyens d'exécution furent mis à ma disposition par les ministres de la guerre et des travaux publics; et, dès le mois d'avril 1841, je commençai ces expériences, qui n'ont été terminées qu'à la fin de décembre. Je profitai de nouveau de cette circonstance pour ajouter quelques nouvelles observations aux précédentes sur le tirage des voitures.

Ces nouvelles recherches m'ont fourni les moyens de faire quelques études spéciales sur le mouvement des rouleaux de bois ou de fonte sur des matières plus ou moins compressibles, sur les effets de leur impression dans une matière élastique, et d'étendre davantage mes précédentes expériences sur l'influence de la pression sur la résistance au roulement pour diverses natures de routes.

En multipliant ainsi les expériences et en en variant les éléments, je reconnus de plus en plus combien la question que j'essayais de résoudre était compliquée par la nature même des corps étudiés, et combien en pareille matière il fallait être sobre de conclusions générales et absolues. Telle loi, qui paraissait presque rigoureusement exacte dans un cas, cessait de l'être dans d'autres. Ainsi, la proportionnalité de la résistance à la pression, admise par Coulomb et par la plupart des théoriciens et expérimentateurs, n'est plus vraie sur les bois, dès que leur élasticité peut être altérée par la charge; sur les routes en empierrement, elle paraît à peu près exacte dans des limites très étendues; sur le pavé, elle n'est qu'approximative. La loi de la variation de la résistance en raison inverse des diamètres, qui paraît très voisine de la vérité pour les routes pavées ou en empierrement très dur, pour les bois, le cuir, le plâtre, et en général pour les sols rigides, n'est qu'une approximation plus ou moins exacte pour les sols

mous et compressibles. Sur ces derniers sols, et dans le cas des rouleaux cylindriques, la résistance au roulement diminue notablement à mesure que la largeur augmente; sur les sols fermes au contraire, cette influence s'affaiblit d'autant plus qu'ils sont plus rigides. Quant aux voitures ordinaires, l'inclinaison des fusées d'essieux, et le mouvement des roues autour d'un axe incliné au sol qui en est la conséquence, semblent au contraire occasionner dans quelques cas un surcroît de résistance pour les bandes larges. Entre les limites ordinaires de vitesse des voitures, la résistance paraît être à très peu près indépendante de cette vitesse sur les sols mous, tandis que sur les routes en empierrement et sur le pavé elle croît avec la rapidité du mouvement.

Dans de semblables circonstances, quand il s'agit de phénomènes si compliqués et sur lesquels tant de causes diverses peuvent exercer des influences opposées et simultanées, on doit renoncer à l'espoir d'obtenir des lois simples et mathématiques qui puissent représenter tous les faits observés. Quand on a pour objet principal les applications, il faut se borner à rechercher des règles pratiques usuelles, sinon rigoureuses, du moins assez simples et assez voisines de la vérité pour être utiles à la pratique.

Cette conséquence a été rendue encore plus évidente, s'il est possible, par les belles recherches dont M. Piobert a communiqué récemment les résultats à l'Académie des sciences. Dès l'année 1820, à Toulouse, ce savant officier s'était occupé de la question du tirage des voitures sous le point de vue théorique et expérimental, et n'avait pas tardé à reconnaître toutes les difficultés de la question. Ses recherches sont consignées dans des mémoires inédits, déposés aux Archives de l'artillerie. C'est le développement et les conséquences de ce travail qu'il vient de communiquer à l'Académie, et que sans doute il ne tardera pas à publier. Après avoir établi une théorie générale des effets du mouvement des roues sur un sol quelconque et analysé les circonstances spéciales relatives à différentes natures de terrains, le savant académicien en conclut que sur les sols compressibles la résistance croît plus rapidement que la première puissance de la pression, d'autant plus que le corps est plus compressible, et qu'elle varie en raison inverse d'une puissance du diamètre comprise entre $\frac{2}{3}$ et l'unité, et

qui se rapproche d'autant plus de cette dernière limite que le sol est plus dur.

Dans le rapport qu'il a lu à l'Académie, le 3 janvier 1842, sur l'ensemble de toutes mes recherches, au nom d'une commission composée de MM. Arago, Poncelet, Coriolis et lui, le même physicien, après avoir discuté avec une sévérité scrupuleuse dont je le remercie et qui était d'autant plus nécessaire que les liens d'amitié qui nous unissent sont plus connus, conclut en ces termes :

« En résumé, les belles et nombreuses expériences que M. Morin a » faites sur le roulage ne confirment pas d'une manière rigoureuse » les lois générales qu'il avait cru pouvoir en déduire, la proportion- » nalité de la résistance à la pression en raison inverse du rayon » des roues, cette résistance variant généralement dans un rapport » plus fort que la charge et en raison inverse d'une puissance du rayon » plus petite que l'unité; enfin l'indépendance de la résistance et de » la vitesse sur les terrains compressibles pourrait ne pas être com- » plète. Cependant, dans un grand nombre de cas, les résultats de » l'expérience s'éloignent assez peu de ces lois pour qu'on puisse les » admettre dans la pratique, entre certaines limites. »

Or le but du travail que j'ai entrepris depuis 1836 et que je publie aujourd'hui est essentiellement de fournir à la pratique des données et des règles usuelles pour les applications; et, comme en pareille matière des résultats qui approchent de la vérité à $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{10}$ près et même moins, sont encore suffisamment exacts, je crois que les lois simples, d'un usage facile, que j'ai admises, pourront être plus utiles que des lois plus rigoureuses peut-être, mais plus compliquées, et qui renfermeraient des exposants de puissances variables avec la nature des terrains et pour la détermination desquels on serait fort embarrassé dans chaque cas.

Au surplus, tous les éléments de la question sont reproduits dans cet ouvrage; et, les résultats des expériences étant expressément regardés par la commission de l'Académie comme dignes de toute confiance, les ingénieurs qui voudront les étudier pourront en déduire eux-

mêmes les conséquences, et voir si les lois approximatives que j'en ai conclues sont suffisamment justifiées, au point de vue des applications.

Tout ce que je viens de dire est relatif à la première partie de cet ouvrage, où il est particulièrement question du tirage des voitures. Quant à ce qui concerne les effets destructeurs exercés sur les routes par les différents véhicules, la marche que j'ai suivie, exactement conforme à celle qui avait été indiquée par M. Navier dans un mémoire publié en 1831, mais que je ne connaissais pas à l'époque de mes premières recherches, a reçu l'approbation de l'Académie des sciences; les conséquences en ont été admises; et, en résumé, la commission, composée de MM. Arago, Poncelet, Coriolis et Piobert, a proposé à cette illustre société sur mes nouveaux mémoires les conclusions suivantes :

« D'après l'examen circonstancié que nous venons de faire des » expériences remarquables que M. Morin a entreprises à diverses » époques, nous pensons que, quoique ce travail ne l'ait pas conduit » à une loi mathématique sur la résistance produite dans le roule- » ment, il ne sera pas moins très utile pour la pratique; la manière » dont ces expériences ont été exécutées, les nombreux résultats qu'el- » les ont fournis sur le tirage des voitures et pour la solution de la que- » stion de la police du roulage, ont paru à votre commission mériter » les encouragements et l'approbation de l'Académie; elle proposerait » l'impression de ce travail dans le *Recueil des savants étrangers*, si l'au- » teur n'avait manifesté l'intention d'en faire l'objet d'une prochaine » publication. »

Les conclusions de ce rapport ont été adoptées.

La portion des expériences qui est plus spécialement relative à l'action des voitures sur les routes a été, de la part de la commission du roulage formée par M. le ministre des travaux publics, l'objet d'un contrôle et d'une vérification continuelle, exercée avec autant de soins que de bienveillance par M. Emmery, inspecteur divisionnaire, secrétaire de cette commission. Presque tous les résultats des diverses séries d'expériences ont été obtenus et constatés en sa présence,

et plusieurs fois devant d'autres ingénieurs. Les conséquences que j'ai déduites de ces observations ont été, pour la plupart, pleinement admises par la commission ; et il me suffirait, pour le montrer, de faire connaître quelques unes des conclusions adoptées dans les séances de cette commission ; mais je me bornerai à renvoyer à l'exposé des motifs du projet de loi présenté aux chambres, et qui est en grande partie basé sur ces conséquences.

En résumé, en ce qui concerne le tirage de voitures, l'exactitude des observations et l'utilité pratique des lois approximatives que j'ai admises, ce travail a reçu l'approbation de l'Académie des sciences ; pour ce qui est relatif à l'action des voitures sur les routes, tous les résultats des expériences et les conséquences fondamentales que j'en ai déduites ont été admis par la commission d'ingénieurs des ponts et chaussées chargée de préparer la loi sur la police du roulage et introduits dans le projet de loi ; c'est donc avec confiance que je puis présenter aux ingénieurs et aux industriels ce travail, fruit de cinq années de recherches.

En publiant mon premier mémoire sur cette question, j'ai dû adresser un juste tribut de remercîments au ministère de la guerre, au comité de l'artillerie, à MM. les généraux baron Duchand, Schouller et Bouteiller, à MM. Le Masson, Lejoindre et Plassiard, ingénieurs des ponts et chaussées dans le département de la Moselle, pour l'appui, les moyens, le concours, dont ils m'ont favorisé. Je n'ai pas été moins heureux dans mes recherches ultérieures : la confiance honorable qui m'a été accordée par le ministère des travaux publics, sur la proposition de M. Legr and ; la bienveillance continuelle avec laquelle M. Emmery, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, en a suivi et observé les résultats ; les facilités que m'ont procurées MM. les généraux d'artillerie baron Gourgaud et marquis de La Place, M. le colonel baron de La Coste ; le concours désintéressé que m'ont fourni l'administration des Messageries Générales, et M. Blanc, commissionnaire de roulage, m'ont encouragé dans ces travaux longs et quelquefois pénibles. Qu'il me soit permis de témoigner à tant d'hommes éclairés ma profonde reconnaissance pour l'appui libéral qu'ils m'ont prêté, et à l'aide duquel j'ai pu mener ces recherches à bonne et utile fin.

TABLE DES MATIÈRES.

1re PARTIE.

2e PARTIE.

au corps ou à la partie intermédiaire entre les extrémités qui roulaient sur les bandes; ils étaient équilibrés autour de leur axe de figure. Pour les rouleaux en fonte, l'arbre en fer était toujours le même, et pouvait recevoir successivement à ses extrémités des rouleaux de différents diamètres.

La charge des rouleaux en bois était formée, comme dans l'appareil de Coulomb, par des poids égaux, suspendus aux deux extrémités d'une ficelle flexible. Ces poids étaient des obus chargés de balles de plomb, et lestés tous au poids constant de 15 kilog. On pouvait ainsi, sur la longueur du corps d'un rouleau, placer jusqu'à quatre à cinq cordes ou huit ou dix obus, formant une charge additionnelle de 120 ou de 150 kilog. Afin que le poids des cordes ne pût, en variant pendant le mouvement, influencer les résultats, on a eu soin de laisser pendre en dessous de chaque obus et de chaque côté une longueur de corde telle, qu'elle pût toujours toucher le sol, et d'ajouter le poids constant des deux brins à celui de la charge. Les cordes employées n'ayant que $0^m,003$ de diamètre et étant souples, on pouvait négliger leur roideur dans ces expériences, ainsi que l'a fait Coulomb dans les siennes.

Le mouvement des rouleaux était produit par deux poids différents. L'un agissait pendant toute la course du rouleau, et, par un tâtonnement qui constituait pour ainsi dire l'expérience, on déterminait sa valeur, de façon que le mouvement imprimé au rouleau s'entretînt à une vitesse uniforme. Au dessous de ce poids, un bout de corde, de longueur constante, descendait jusqu'à terre, afin que la force motrice fût toujours la même. L'autre poids était suspendu au dessus du sol par une corde qui n'était retenue au corps du rouleau que par une boucle accrochée à une pointe sans tête; de sorte qu'aussitôt que le poids touchait terre ou que la corde se décrochait, il cessait d'agir. On voit que ce poids additionnel ne servait qu'à produire avec le précédent le mouvement, que celui-ci seul devait entretenir.

Pour reconnaître la nature du mouvement, qui avait lieu pendant une chute de $4^m,50$ environ du poids moteur, on observait, à l'aide d'un compteur à pointage, donnant les dixièmes de seconde, la durée des tours ou demi-tours du rouleau.

On verra plus tard quelle a été la marche suivie dans les expériences faites avec cet appareil, et qui avaient spécialement pour but de vérifier l'exactitude des résultats obtenus par Coulomb, sur laquelle on avait cherché à élever des doutes, fondés du reste sur des suppositions gratuites. Mais, en reproduisant aussi exactement que possible l'appareil de Coulomb, je ne me suis pas dissimulé les défauts qu'il pouvait avoir, et je crois devoir les signaler.

Lorsque le cylindre se met en mouvement sous l'action des poids moteurs, il reçoit un double mouvement de rotation et de translation, et, les poids sus-

pendus aux ficelles résistant par leur inertie à ces mouvements, il s'ensuit que, dans les premiers instants, les ficelles s'inclinent d'une petite quantité dans le sens de la marche. Il résulte de là que les obus forment autant de pendules qui prennent un mouvement oscillatoire outre les mouvements d'ascension verticale et de transport horizontal qui leur sont communiqués. Lorsque la marche du cylindre est continue, décidée, le mouvement oscillatoire de la charge n'a pas d'influence sensible sur sa régularité; mais il faut pour cela qu'il ne se produise pas d'oscillations en sens contraire, et encore moins de chocs entre les obus qui descendent et ceux qui montent, ce qui apporterait une perturbation grave au mouvement. On parvient facilement à éviter ces effets en recherchant par tâtonnement à quelle hauteur il faut élever le poids additionnel pour que le mouvement de transport soit convenablement rapide. Pour réussir dans ces expériences, il faut donc que le rouleau marche sans incertitude.

C'est pour éviter ces inconvénients que j'ai fait faire plus tard un arbre en fer cylindrique, dont la charge était formée par des disques en plomb tournés, dont on pouvait varier le nombre, de manière à opérer sous différentes pressions, et aux extrémités duquel on plaçait des roues de différents diamètres.

Le mouvement de cet arbre était d'ailleurs produit aussi par un poids additionnel qui cessait d'agir après une portion convenable de la course, et d'un poids constant, qui devait entretenir le mouvement uniforme, et dont on déterminait par tâtonnement la valeur, en observant la loi du mouvement avec un compteur à pointage.

On remarquera aussi qu'avec cet arbre en fer il n'y avait plus de cordes qui s'enroulassent, et que cette légère cause d'erreur inhérente à l'appareil de Coulomb avait été évitée avec celui-ci.

2. *Résultats des expériences de Coulomb.* — Avant d'aller plus loin, je crois devoir rappeler succinctement les résultats qui ont été obtenus par Coulomb. On sait que ce célèbre physicien n'avait pour but que de se mettre à même d'apprécier la résistance au roulement éprouvée par des rouleaux d'orme ou de gaïac sur du bois de chêne, pour pouvoir en tenir compte dans ses expériences sur la roideur des cordes. Ce n'était donc pour lui qu'une recherche incidente, et il ne faut pas s'étonner qu'il n'ait portés son attention que sur les éléments qui l'intéressaient alors, l'influence du diamètre et celle de la pression. Il faut remarquer qu'il n'indique pas la largeur des surfaces en contact, qui sans doute a toujours été à peu près le même, et qu'il n'a opéré que sur du bois de chêne, qui est dur et roide, avec des rouleaux en orme et en gaïac.

Son mode d'expérimentation était le même que je viens de décrire, à cette exception que, n'ayant pas de compteur à pointage qui fractionnât la seconde, il recherchait quel était le poids qui produisait un mouvement *continu, mais insensible*, c'est-à-dire très lent; ce qui rendait négligeables ou nuls les effets de l'inertie des masses en mouvement. Les résultats qu'il a obtenus, extraits du tome X du recueil des savants étrangers, sont les suivants :

NATURE des rouleaux.	CHARGE DES ROULEAUX y compris leur poids.	RÉSISTANCE DES ROULEAUX du diamètre de		
		6 po.	2 po.	
En gaïac. . . .	liv. 100	liv. 0,60	liv. 1,6	
	500	5,00	9,4	
	1000	6,00	18,0	
		12 po.	6 po.	
En orme. . . .	1000	5 liv.	10 liv.	

La conclusion que Coulomb tire de ces résultats, c'est que la résistance au roulement est proportionnelle à la pression et en raison inverse du diamètre des rouleaux. D'où il suit qu'en nommant :

R cette résistance rapportée à la circonférence du rouleau,
P la pression,
r le rayon du rouleau,
A un coefficient constant, dépendant de la nature du rouleau et de la surface sur laquelle il roule, on a la relation

$$R = A\frac{P}{r}.$$

Coulomb ajoute que, sous les petites pressions, le frottement paraît un peu plus grand que celui qui résulterait d'une résistance proportionnelle à la pression.

Quant à la largeur des parties en contact et à la vitesse du mouvement, il n'en a pas étudié l'influence.

3. *Expériences exécutées à l'arsenal de Vincennes.* — Passons maintenant aux expériences entreprises pour vérifier les résultats de celles de Coulomb. La disposition générale de l'appareil et le mode d'expérimentation ayant été décrits plus haut, il ne reste plus qu'à faire connaître les données de ces expériences.

Les diamètres et les poids des rouleaux en bois de chêne ont été les suivants :

NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE du corps des rouleaux, $2r'$.	DIAMÈTRE des extrémités, $2r$.	POIDS.	OBSERVATIONS.
	m.	m.	kil.	
1	0,1980	0,3620	72,250	Tous ces rouleaux devaient avoir au corps un diamètre de $0^m,200$, et, aux extrémités, $0^m,360$, $0^m,270$, $0^m,180$, $0^m,090$, $0^m,045$. Quelques défauts rencontrés dans le bois ont conduit aux dimensions indiquées ci-contre.
2	0,1915	0,2710	53,062	
3	0,2000	0,1805	46,125	
4	0,1990	0,0900	33,344	
5	0,2020	0,0460	30,000	

La corde employée avait $0^m,003$ de diamètre et pesait $0^k,0118$ le mètre courant. On a ajouté $0^k,135$ au poids du rouleau et à celui de chaque paire d'obus, pour tenir compte du poids de la corde pendante et enroulée.

Les rouleaux ont été mis en mouvement sur des bandes de bois de peuplier, auxquelles on a donné successivement $0^m,100$, $0^m,050$ et $0^m,025$ de largeur, sur des bandes de cuir de $0^m,100$ de largeur et $0^m,005$ d'épaisseur, et sur une couche de plâtre de $0^m,030$ d'épaisseur et $0^m,060$ de largeur.

La nature et la vitesse du mouvement étaient observées en notant, à l'aide d'un compteur donnant les dixièmes de seconde, la durée des derniers tours ou demi-tours ; ce qui était facile en saisissant l'instant où un même diamètre, marqué à la craie, redevenait vertical.

En faisant varier les poids moteurs, on parvenait, pour chaque rouleau, à déterminer, outre celui qui entretenait le mouvement uniforme, les poids un peu inférieur et supérieur pour lesquels le mouvement se retardait ou s'accélérait ; ce qui donnait une garantie de l'exactitude de la détermination du premier poids.

Si l'on appelle :

P le poids total du rouleau et de sa charge, y compris le poids moteur;

Q le poids moteur;

R la résistance au roulement rapportée à la circonférence du rouleau;

r' Le rayon du corps du rouleau ou le bras de levier moyen du poids moteur Q, y compris le demi-diamètre de la corde;

r le rayon de l'extrémité du rouleau ou le bras de levier de la résistance R;

On aura d'abord, dans le cas du mouvement uniforme ou du mouvement lent et incertain, où l'inertie n'a pas d'influence sensible;

$$R = Q\frac{r'}{r},$$

relation qui, d'après les valeurs de r' et r et du diamètre de la corde égal à $0^m,003$, donne pour les rouleaux :

N° 1	R = 0,555 Q
N° 2	R = 0,718 Q
N° 3	R = 1,125 Q
N° 4	R = 2,244 Q
N° 5	R = 4,457 Q

La résistance au roulement rapportée à la circonférence du rouleau étant une fois connue, il est facile de voir quelle est la loi qu'elle suit par rapport au rayon de ce rouleau : car, si la loi de Coulomb est exacte, le nombre A de la formule $R = A\frac{P}{r}$ doit être une quantité constante que l'on déduira des résultats des expériences, et qui sera égale à

$$A = \frac{Rr}{P};$$

Tandis, que si la résistance au roulement varie en raison inverse de la racine carrée du rayon ou du diamètre, son expression sera de la forme :

$$R = A'\frac{P}{\sqrt{r}},$$

dans laquelle $A' = \frac{R\sqrt{r}}{P}$ devra être une quantité constante.

Il est facile de reconnaître, par les expériences que je vais rapporter, quelle est celle des deux lois qui est la plus voisine de la vérité.

4. *Résultats des expériences.*—J'ai commencé par faire marcher les rouleaux ayant une largeur de $0^m,30$ à leurs extrémités, sur les madriers de peuplier de $0^m,200$ de largeur, de sorte que la pression, qui ne variait que de 150 à 200 kil. environ, était répartie sur une zone de contact de $0^m,400$ de largeur.

Mais, ainsi que Coulomb l'avait lui-même observé, il a été impossible

d'obtenir des résultats réguliers, et dans lesquels on pût discerner aucune loi, avec des pressions aussi faibles par rapport à l'étendue de la surface de contact. Or on remarquera que les madriers de peuplier étaient dressés à la varlope, et que, malgré le soin apporté à cette opération, leur surface présentait nécessairement quelques irrégularités, dont l'effet était d'autant plus sensible que la profondeur d'impression était moindre, ainsi que la résistance à mesurer; c'est ce qui explique suffisamment les anomalies observées.

Il fallait donc augmenter les pressions, ou, ce qui valait mieux, pour obtenir plus de régularité, diminuer la largeur des surfaces; parce qu'alors la profondeur d'impression devenant plus grande, les petites inégalités de la surface, qui n'étaient que des quantités très faibles et dépendantes de l'action et de la forme des outils, devaient avoir moins d'influence relative et être en moindre nombre absolu. C'est ce dernier parti qui a été suivi, et l'on a réduit la largeur de contact, d'abord à $0^m,100$, puis à $0^m,050$, et enfin à $0^m,025$. Dès lors, la pression sur chaque unité de largeur de contact étant devenue beaucoup plus grande, la profondeur d'impression et la résistance ont augmenté, et, à l'inverse, l'influence des inégalités a diminué, comme on l'avait prévu, et les résultats ont offert beaucoup plus de régularité.

La réduction successive de la largeur de contact de $0^m,100$ à $0^m,050$, ou $0^m,025$, a, de plus, servi à vérifier que la résistance augmentait, à poids et diamètres égaux, quand cette dimension diminuait, ainsi que l'avaient montré les expériences de 1838, sur les terrains mous, dont il sera parlé plus tard.

J'ai dit que les surfaces avaient été mises aussi exactement que possible de niveau dans les deux sens; mais, pour tenir compte des petites différences qui pouvaient néanmoins exister et provenir de la flexion des supports, on a eu soin de faire marcher les rouleaux avec la même charge dans les deux sens, et de rechercher, dans chaque cas, quel était le poids qui entretenait le mouvement uniforme. Avec tous les rouleaux, on a presque constamment observé qu'il y avait un sens, toujours le même, dans lequel le mouvement était plus facile, et exigeait un effort un peu moindre. Pour tenir compte de cette différence dans les calculs, on a pris pour l'effort qui fait équilibre à la résistance moyenne la moyenne arithmétique des efforts observés successivement dans un sens et dans l'autre, et qui du reste différaient assez peu entre eux, comme on peut le voir au tableau.

Le premier des tableaux suivants contient tous les résultats de l'observation, et donne la valeur de la résistance déduite de l'expérience; le second offre la comparaison de ces données avec la loi de Coulomb, et avec celle de la raison inverse des racines carrées des rayons.

EXPERIENCES ***sur l'influence des diamètres et des largeurs des rouleaux de bois de chêne***
faites en novembre 1840 à l'arsenal de Vincennes,

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvement	POIDS additionnel employé pour produire le mouvement	POIDS moteur pendant le mouvement
	m.		m.	k.	k.	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur des madriers de peuplier.	0,100	1	0,362	75,250	120,540	195,790	Aller.	3,000	1,500
									1,750
									1,750
									1,750
									1,875
								3,000	1,875
							Retour.	3,000	1,500
									1,500
	0,100	2	0,271	53,062	120,540	173,602	Aller.		1,500
									1,375
							Retour.		1,500
									1,500

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.		NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvem^t uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvem^t sur un plan perfaitem^t de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
	min.		k.	k.	k.	k.	k.	
		Ce poids ne produit^t ni n'entretient le mouvement.						
		Mouvement lent et incertain, et quelquefois arrêté.						
1re obs. 1/2 tour en	3,7 4,8	Mouvement retardé.						
2^e	4,0 4,0							
3^e	3,9 4,0							
4^e	6,7 7,1							
1re obs. 1 tour en	8,0 7,7	Mouvement un peu incertain.						
2^e	8,0 9,5							
1re	3,6 3,8	Mouvement uniforme	1,875					
2^e	3,9 4,0							
3^e	4,0 3,9							
1re obs. 1/2 tour en	1,7 1,8			1,687	0,065	1,752	0,972	
2^e	1,6 1,7 1,5							
3^e	1,7 1,7	Uniforme.	1,500					
4^e	1,8 1,8 1,7							
1re obs. 1 tour en	2,6 2,6	Uniforme.						
2^e	2,7 2,6							
2^e	2,5 2,5							
		Très lent, incertain, arrêté à diverses reprises, répété trois fois.	1,500 faible.					
		Ce poids ne produit ni n'entretient le moument.						
1re obs. 1 tour en	[illegible]			1,500	0,065	1,565	1,124	
2^e	2,3 2,2		1,500 un peu fort					
3^e	2,4 2,3							
4^e	2,5 2,5							

EXPÉRIENCES ***sur l'influence des diamètres et des largeurs des rouleaux de bois de chêne, faites en novembre 1840 à l'arsenal de Vincennes***

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvement	POIDS additionnel employé pour produire le mouvement	POIDS moteur pendant le mouvement
	m.		m.	k.	k.	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur des madriers en peuplier.	0,100	3	0,180	46,125	120,540	166,665	Aller.	»	1,250
								»	1,315
							Retour.	»	1,250
	0,100	4	0,090	33,344	150,675	184,019	Aller.	»	1,625
								»	1,650
							Retour.	»	1,650
	0,050	1	0,362	75,250	120,540	195,790	Aller.		2,125
								»	2,250
								»	2,250
							Retour.	»	2,000
								»	2,125
								»	2,250

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.	NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvemt uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvemt sur un plan parfaitemt de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
sec.	Ce poids ne produit pas le mouvement; il n'entretient qu'un mouvement lent et incertain. Expérience répétée 4 fois.	k.	k.	k.	k.	k.	
1 tour en 6,6 6,8	Mouvement lent et un peu incertain quand il est produit par le poids seul; uniforme quand le rouleau est mis en mouvement à la main.	1,313					
1re obs. 2,2 2,2 2,0			1,281	0,065	1,346	1,515	
2e 1,8 1,7							
3e 2,2 2,2	Uniforme.	1,250					
4e 1,9 1,9							
5e 1,7 1,6							
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouvement.						
1re obs. 1 tour en 2,1 2,2							
2e 2,3 2,3 2,1	Sensiblement uniforme.	1,650					
3e 2,2 2,1 2,0			1,650	0,065	1,715	3,848	
1re obs. 1 tour en 1,3 1,3 1,3 1,2							
2e 1,3 1,3 1,3	A très peu près uniforme, tendant à l'accélération.	1,650					
3e 1,5 1,5 1,4 1,3							
	Ce poids ne produit qu'un mouvement incertain, parfois arrêté						
1re obs. 1/2 tour en 3,9 3,8	Uniforme.	2,250					
2e 6,9 6,8							
1re obs. 1/2 tour en 4,9 5,2							
2e 3,9 4,1	Mouvement un peu retardé.						
2,2 2,7			2,188	0,065	2,253	1,250	
4e 3,1 3,3							
1re obs. 1 tour en 4,8 4,7							
2e 3,5 3,7	Mouvement uniforme.	2,125					
3e 3,4 3,4							
1re 4,4 4,2							
2e 4,4 4,1	Mouvement un peu accéléré.						
3e 3,6 3,2							
4 4,0 3,8							

EXPÉRIENCES *sur l'influence des diamètres et des largeurs des rouleaux de bois de chêne, faites en novembre 1840 à l'arsenal de Vincennes*

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvement	POIDS additionnel employé pour produire le mouvement	POIDS moteur pendant le mouvement
	m.		m.	k.		k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur des madriers de peuplier.	0,030	1	0,362	75,250	60,270	115,520	Aller.	»	1,250
								»	1,375
							Retour.	»	1,250
								»	1,125
		2	0,271	53,062	120,540	173,602	Aller.	»	1,875
								»	1,975
							Retour.	»	1,875
								»	1,975

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.	NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvement uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvemt sur un plan parfaitemt de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
secondes.		k.	k.	k.	k.	k.	
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouv.						
1re obs. 1 tour en 5,5 5,5	Uniforme.	1,375					
2e 2,9 3,0							
3e – 8,3 8,3							
1re 5,6 4,9	Accéléré.		1,250	0,065	1,315	0,730	
2e 4,2 3,9							
1re 5,0 5,0	Ce poids ne produit pas toujours le mouvement uniforme.	1,125					
2e 4,1 4,0							
3e 3,6 3,5							
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouv.						
1re obs. 1 tour en 2,9 2,9	Uniforme.	1,975					
2e 2,5 2,6							
3e 2,9 2,9							
4e 4,2 4,2							
			1,925	0,065	1,990	1,430	
1re obs. 1 tour en 3,8 3,7	Ce poids ne produit pas toujours le mouvement, qui est quelquefois un peu retardé. — Uniforme.	1,875					
2e 3,3 3,8							
3e 3,4 3,3							
4e 3,4 3,5							
1re obs. 1 tour en 2,8 2,6	A très peu près uniforme ; légère tendance à l'accélération.						
2e 3,2 3,2							
3e 2,3 2,1							
4e 2,2 2,1							
5e 2,9 2,8							

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvemᵗ	POIDS additionnel employé pour produire le mouvemᵗ	POIDS moteur pendant le mouvemᵗ
	m.		m.	k.	k.	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur des madriers en peuplier.	0,030	3	0,1805	46,125	120,540	166,665	Aller.	»	1,500
								»	1,625
								»	1,688
							Retour.	»	1,500
								»	1,625
		4	0,090	33,344	150,675	184,019	Aller.	»	1,815
								»	1,930
								»	1,950
								»	2,000
								»	2,000
							Retour.	»	1,823
								»	1,950
								»	2,000

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.	NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvement uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvemt sur un plan parfaitemt de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
secondes.		k.	k.	k.	k.	k.	
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouv.						
1re obs. 1 tour en 2,6 2,6							
2e 2,9 2,9	Uniforme, ayant quelquefois une faible tendance à l'accélération.	1,656					
3e 2,3 2,3							
4e 7,9 8,1							
1re 2,7 2,6							
2e 2,6 2,6	A très peu près uniforme, ayant une faible tendance à l'accélération.		1,640	0,065	1,703	1,918	
3e 2,6 2,5							
	Ce poids ne produit et n'entretient qu'un mouvement incertain.						
1re obs. 1 tour en 3,4 3,1 3,2 3,4	Uniforme.	1,625					
2e 2,8 3,0							
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouv.						
	Ce poids produit et entretient un mouvt lent, continu, un peu incertain, quelquefs arrêté.						
4,9 5,2 5,3	Retardé.						
	Mouvement continu, régulier, mais un peu incertain.						
1re obs. 1 tour en 4,8 4,8							
2e 4,0 4,1 4,0	Uniforme.	2,000					
3e 5,0 5,0							
	Ce poids entretient un mouvement lent, continu, régulier, quelquefois arrêté.		1,975	0,065	2,040	4,578	
1re obs. 1 tour en 1,5 1,3 1,5 1,4							
2e 1,5 1,4 1,4	Uniforme.	1,950					
3e 1,5 1,6 1,5 1,5							
1re 1,7 1,3 1,2	Accéléré.						
2e 1,7 1,4							

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvement	POIDS additionnel employé pour produire le mouvement	POIDS moteur pendant le mouvement
	m.		m.	k.	k	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur des madriers en peuplier.	0,023	3	0,1805	46,125	120,540	166,665	Aller.	3,000	3,000
								3,000	3,125
								3,000	3,125
								3,000	3,250
							Retour.	3,000	3,000
								3,000	3,250
		4	0,090	33,344	150.675	184,019	Aller.	»	3,000
								3,000	3,500
								3,000	3,750
							Retour.	3,000	3,500
								3,000	3,750

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi tours des rouleaux.	NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvem[t] uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvem[t] sur un plan parfaitem[t] de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
secondes		k.	k.	k,	k.	k.	
	Mouvement lent, incertain, souvent arrêté						
1re obs. 1 tour en 3,6 4,0	Un peu incertain, retardé.						
2e 3,4 4,2 6,4							
1re 2,5 2,6 2,5 2,3	Uniforme.	3,250					
2e 2,4 2,6 2,5 2,4							
1re obs. 1 tour en 2,0 2,0 2,0			3,125	0,065	3,190	3,589	
2e 2,2 2,2 2,2							
3e 2,1 2,0 2,0	Uniforme.	3,000					
4e 1,4 1,4 1,4							
5e 1,6 1,6 1,6							
6e 2,2 2,2 2 2							
1re obs. 1 tour en 1,3 1,2 1,1	Un peu accéléré.						
2e 2,6 2,4 2,2							
	Ce poids ne produit ni n'entretient le mouvement.						
1re obs. 1 tour en 1,7 1,9 2,4 3,0	Retardé.						
2e 1,9 2,0 2,2 2,5							
1re 1,9 2,0 2,1 2,0 1,9							
2e 1,4 1,6 1,4 1,5							
3e 2,4 2,5 2,5	Uniforme.	3,750					
4e 1,5 1,4 1,5 1,4 1,5							
5e 1,4 1,3 1,4			3,625	0,065	3,690	8,280	
1re obs. 1 tour en 1,3 1,2 1,2							
2e 1,3 1,2 1,2 1,2	Uniforme.	3,500					
3e 1,1 1,1 1,2 1,0							
1re 2,2 1,8							
2e 2,2 2,1	Un peu accéléré.						
3e 1,4 1,2 1,1 1,0							

EXPÉRIENCES ***sur l'influence des diamètres et des largeurs des rouleaux de bois de chêne, faites en novembre 1840 à l'arsenal de Vincennes***

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvement	POIDS additionnel employé pour produire le mouvement	POIDS moteur pendant le mouvement
	m.		m.	k.	k.	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur une bande de cuir de $0^m,108$ de largeur et $0^m,005$ d'épaisseur, posée et tendue sur des madriers de peuplier.	0,108	1	0,362	75,250	120,540	195,79	Aller.	»	2,500
								3,000	2,500
								3,000	2,750
							Retour.	3,000	2,000
								3,000	2,250
		3	0,1805	46,125	120,540	166,665	Aller.	3,000	2,250
								3,000	2,000
							Retour.	3,000	2,000
								3,000	1,750
		5	0,046	32,000	120,540	152,540	Aller.	»	1,500
								3,000	1,750
								2,000	1,875
							Retour.	2,000	1,750
								2,000	1,625

ıvec un appareil semblable à celui de Coulomb.

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.		NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvement uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvemt sur un plan parfaitemt de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
		Ce poids ne produit ni n'entretient le mouvement.	k.	k.	k.	k.	k.	
1re obs. 1/2 tour en	1,8 2,4	Retardé.						
2e	1,6 2,0 2,4 2,6							
1e	2,0 2,0 2,0							
2e	2,2 2,1	Uniforme	2,750					
3e	1,7 1,8 1,8							
1e	2,2 2,3			2,375	0,065	2,440	1,354	
2e	2,0 2,0	Uniforme.	2,000					
3e	1,8 1,8							
1re	1,9 1,8 1,5	Un peu accéléré.						
2e	1,8 1,7 1,5							
1re obs. 1 tour en	2,2 2,2							
2e	2,2 2,2 2,2	Uniforme.	2,250					
3e	2,2 2,2							
1re	2,8 3,0	Retardé.						
2e	2,7 2,9 3,0 3,1			2,000	0,065	2,065	2,323	
1re	1,8 1,6 1,5 1,3 1,2	Accéléré.						
2e	1,8 1,6 1,2							
1re	4,5 4,4							
2e obs. 1/2 tour en	1,6 1,5	Uniforme.	1,750					
3e	1,4 1,4 1,6							
		Ce poids ne produit pas le mouvement, et ne l'entretient que d'une manière incertaine.						
1re obs. 1 tour en	1,3 1,2 1,2 1,2	Uniforme.	1,750					
2e	1,2 1,2 1,2							
1re	1,7 1,6 1,4 1,2	Accéléré.						
2e	1,7 1,6 1,5 1,2			1,687	0,065	1,752	7,693	
1re	1,2 1,1 1,0 0,9	Un peu accéléré.						
2e	1,3 1,1 1,0 1,0							
1re	1,2 1,2 1,2 1,1	Uniforme.	1,625					
2e	1,1 1,1 1,0							

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvem[t]	POIDS additionnel employé pour produire le mouvem[t]	POIDS moteur pendant le mouvem[t]
	m.		m.	k.	k.	k.		k.	k.
Rouleaux en bois de chêne sur une couche de plâtre de $0^m,030$ d'épaisseur sur $0^m,060$ de largeur.	0,060	1	0,362	75,250	90,405	165,635	Aller.	3,000	1,250
								3,000	1,500
								»	1,125
							Retour.	3,000	1,125
								3,000	1,250
		2	0,271	53,062	120,540	173,602	Aller.	«	1,375
								3,000	1,375
								3,000	1,500
								3,000	1,750
							Retour.	3,000	1,500
								3,000	1,375
								3,000	1,250
		3	0,1805	46,125	120,540	166,665	Aller.	«	1,250
								3,000	1,250
								3,000	1,250
							Retour.	3,000	1,125
								«	1,250

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi-tours des rouleaux.		NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvement uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvem^t sur un plan parfaitem^t de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
	secondes.		k.	k.	k.	k.	k.	
		Mouvement lent, continu, incertain.						
1 tour en	2,6 3,2	Retardé.						
1re	3,0 3,0							
2^e	3,2 3,2	Uniforme.	1,500					
3^e	3,1 3,1			1,313	0,065	1,378	0,765	
1/2 tour en	2,8 2,8 2,8							
	4,0 4,0	Uniforme.	1,125					
1re obs. 1 tour en	4,0 3,3							
2^e	3,7 3,3	Accéléré.						
		Ce poids ne produit ni n'entretient le mouv.						
		Retardé et arrêté.						
1 tour en	3,8 4,4 5,2	Retardé.						
1re	3,8 3,8							
2^e	3,7 3,7 3,7	Uniforme.	1,750					
3^e	3,2 3,3							
	3,0 2,5 2,2	Accéléré.						
1re	2,5 2,5			1,500	0,065	1,565	1,124	
2^e	2,5 2,3	Très peu accéléré.						
3^e	2,6 2,2							
1re	2,5 2,5							
2^e	2,5 2,6	A très peu près uniforme.	1,250					
		Ce poids produit un mouv. lent, continu.						
1re obs. 1 tour en	2,4 2,2 2,2							
2^e	2,1 2,1 2,1	Uniforme.	1,250					
3^e	2,2 2,2							
1re	1,7 1,5							
2^e	1,7 1,5	Un peu accéléré.		1,188	0,065	1,253	1,410	
1re	1,4 1,2 1,4							
2^e	2,0 2,0	Uniforme.	1,125					
3^e	1,7 1,7							
		Ce poids prod. et entret un mouv. lent, continu, quoiqu'un peu variable.						

EXPERIENCES ***sur l'influence des diamètres et des largeurs des rouleaux de bois de chêne, faites en novembre* 1840 *à l'arsenal de Vincennes,***

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	DIAMÈTRE des rouleaux.	POIDS des rouleaux.	CHARGE des rouleaux.	POIDS total du rouleau et de la charge.	SENS du mouvem^t	POIDS additionnel employé pour produire le mouvem^t	POIDS moteur pendant le mouvem^t
			m.	k.	k.	k.		k.	k.
Bois de chêne sur une couche de plâtre de 0m,03 d'épaisseur, sur 0m,060 de largeur.	0,060	4	0,090	33,344	120,540	153,884	Aller.		1,250
									1,250
								3,000	1,250
								3,000	1,375
							Retour.	3,000	1,125
								3,000	1,125
		5	0,046	32,000	120,540	152,540	Aller.	3,000	1,250
								3,000	1,375
									1,375
							Retour.		1,250
								3,000	1,250
								3,000	1,125

DURÉES OBSERVÉES des derniers tours ou demi tours des rouleaux.		NATURE du mouvement.	POIDS moteur qui entretient le mouvem^t uniforme dans chaque série.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvem^t sur un plan parfaitem^t de niveau.	POIDS de corde à ajouter.	POIDS qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. du rouleau.	OBSERVATIONS.
	secondes.		k.	k.	k.	k.	k.	
1 tour en	3,8 3,8 3,8	Mouvement lent, continu, uniforme.						
	2,0 1,8 1,8 2,0	Idem.						
	1,9 1,8 1,8	Uniforme.	1,250					
1re obs. 1 tour en	1,8 1,6	Un peu accéléré.						
2^e	2,0 1,9 1,8 1,7							
1re	1,4 1,2 1,1	Accéléré.		1,188	0,065	1,253	2,811	
2^e	1,6 1,3 1,2 1,0							
1re	1,0 1,0 1,2	Uniforme.	1,125					
2^e	1,2 1,0 1,0							
3^e	1,2 1,2 1,1							
1re obs. 1 tour en	1,4 1,4 1,5 1,4	Uniforme.	1,250					
2^e	1,5 1,5 1,5							
3^e	1,2 1,2 1,2							
4^e	1,4 1,5 1,4							
	1,8 1,5 1,4 1,2	Accéléré.						
	2,4 1,8, 1,6	Accéléré.						
1 tour en	1,4 1,3 1,2 1,2	Accéléré.		1,188	0,065	1,253	5,584	
1re	1,2 1,2 1,0	Accéléré.						
2^e	1,4 1,2 1,0 0,9							
1re	1,2 1,1 1,1	Uniforme.	1,125					
2^e	0,9 1,0 0,9							

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉROS des rouleaux.	RAYON du corps du rouleau y compris celui de la corde.	RAYON du rouleau.	PRESSION.			
					POIDS du rouleau.	CHARGE du rouleau y compris la corde.	POIDS moyen qui fait équilibre à la résistance à la circonfér. du corps du rouleau.	PRESSION totale du rouleau sur la bande.
	m.		m.	m.	k.	k.	k.	k.
Rouleaux de bois de chêne sur des madriers de peuplier. (Les fibres du chêne sont perpendiculaires au sens du mouvement, celles du peuplier lui sont parallèles.)	0,100	1	0,1005	0,1810	75,250	120,540	1,752	197,542
		2	0,0973	0,1355	53,062	120,540	1,565	175,167
		3	0,1015	0,0902	46,125	120,540	1,346	168,011
		4	0,1010	0,0450	33,344	150,675	1,715	185,734
	0,050	1	0,1005	0,1810	75,250	120,540	2,253	198,043
		2	0,0973	0,1355	53,062	120,540	1,990	175,592
		3	0,1015	0,0902	46,125	120,540	1,705	168,370
		4	0,1010	0,0450	33,344	150,675	2,040	186,059
	0,025	1	0,1005	0,1810	75,250	120,510	3,565	199,355
		3	0,1015	0,0902	46,125	120,540	3,190	169,855
		4	0,1010	0,0450	33,344	150,675	3,690	187,709
Rouleaux de bois de chêne sur des bandes de cuir de 0m,005 d'épaisseur posées sur des madriers de peuplier.	0,108	1	0,1005	0,1810	75,250	120,540	2,440	198,230
		3	0,1015	0,0902	46,125	120,540	2,065	168,730
		5	0,1010	0,0230	32,000	120,540	1,752	154,292
Rouleaux de bois de chêne sur une couche de plâtre de 0m,030 d'épaisseur sur des madriers de peuplier.	0,060	1	0,1005	0,1810	72,250	90,405	1,378	167,033
		2	0,0973	0,1355	53,062	120,540	1,565	175,167
		3	0,1015	0,0902	46,125	120,540	1,253	167,918
		4	0,1010	0,0450	33,344	120,540	1,253	155,137
		5	0,1010	0,0230	32,000	120,540	1,253	153,793

RÉSISTANCE au roulement rapportée à la circonfér. du rouleau.	VALEUR du rapport de la pression au rayon du rouleau.	VALEUR de $A'=\frac{Rr}{P}$.	VALEUR du rapport de la pression à la racine carrée du rayon $\frac{P}{\sqrt{r}}$	VALEUR de $A=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	OBSERVATIONS.
k.					
0,972	1091,4	0,000891	464,13	0,002094	
1,124	1292,7	0,000869	475,59	0,002363	
1,514	1862,5	0,000813	559,44	0,002706	
3,848	4127,4	0,000932	875,67	0,004372	
	Moyenne	0,000876			
1,250	1094,1	0,001143	465,54	0,002685	
1,428	1295,9	0,001101	477,02	0,002994	
1,918	1866,6	0,001028	560,67	0,003421	
4,578	4134,6	0,001107	877,10	0,005219	
	Moyenne	0,001095			
1,979	1101,4	0,001797	468,62	0,004223	
3,589	1883,1	0,001905	565,63	0,006345	
8,280	4171,3	0,001984	885,00	0,009356	
	Moyenne	0,001895			
1,354	1095,2	0,001236	465,98	0,002906	
2,323	1870,6	0,001242	561,87	0,004135	
7,799	6708,3	0,001163	1017,75	0,007663	
	Moyenne	0,001214			
0,765	922,8	0,000828	392,65	0,001948	
1,124	1292,8	0,000869	475,86	0,002362	
1,410	1861,6	0,000757	559,16	0,002522	
2,811	3447,5	0,000815	735,16	0,003834	
5,584	6686,6	0,000835	1014,07	0,005507	
	Moyenne	0,000821			

L'inspection des résultats contenus dans ce dernier tableau montre que, dans les cas observés et dans les limites étendues des diamètres employés, la résistance au roulement suit une loi qui s'éloigne fort peu de celle de Coulomb. On voit, en effet, que, malgré les défauts inhérents à l'appareil employé, les valeurs moyennes du nombre $A = \frac{Rr}{P}$ ne s'éloignent que d'un douzième environ des extrêmes, tandis que celle du nombre $A' = \frac{R\sqrt{r}}{P}$ s'écartent avec continuité et de plus en plus des résultats de l'observation.

On peut donc conclure de ces expériences, au moins comme une loi suffisamment exacte pour les applications, que *sur les corps fibreux, comme les bois, sur les tissus spongieux, comme le cuir, sur les corps grenus, comme le plâtre, la résistance au roulement varie en raison inverse du diamètre des rouleaux.*

On voit de plus que, les expériences sur la résistance des rouleaux de chêne sur le bois de peuplier ayant été faites successivement sur des bandes de largeurs de $0^m,100$, $0^m,050$, $0^m,025$, et sous des pressions égales dans chaque cas, la résistance s'est graduellement et continuellement accrue, à mesure que la largeur de la zone de contact a diminué, et que, pour des largeurs qui ont différé dans le rapport de quatre à un, l'accroissement a été si considérable, que, pour la plus petite largeur, cette résistance a été double de ce qu'elle avait été pour la plus grande.

Il suit de là que *sur les corps compressibles la résistance au roulement augmente quand la largeur de la zone de contact diminue.* Nous verrons cette conséquence confirmée par d'autres expériences.

6. *Expériences avec le même appareil répétées au Conservatoire des arts et métiers.* — Depuis l'exécution des expériences dont je viens de rapporter et de calculer les résultats, et pour donner suite à des recherches du même genre, l'appareil a été transporté au Conservatoire des arts et métiers, à Paris, et l'on a répété les expériences précédentes, en faisant marcher les mêmes rouleaux sur des bandes de sapin du Nord de $0^m,010$ de largeur. On remarquera que les rouleaux n'avaient plus exactement les mêmes diamètres que précédemment; ce qui vient de ce qu'on les avait remis sur le tour, pour rectifier leur forme, altérée par les influences hygrométriques.

Leurs nouvelles dimensions, leur poids et la relation entre la résistance au roulement et le poids moteur, sont consignés dans le tableau suivant:

NUMÉROS des rouleaux.	RAYON du corps des rouleaux, y compris celui de la corde r'	RAYON des extrémités des rouleaux. r	POIDS propre des rouleaux.	RELATION entre le poids moteur Q et la résistance R rapportée à la circonférence des rouleaux. $R = \frac{r'}{r} Q$.	OBSERVATIONS.
	m.	m.	k.		
1		0,1780	62,007	R = 0,528 Q	
2		0,1290	46,850	0,729 Q	
3	0,094	0,0875	37,300	1,073 Q	
4		0,0425	25,700	2,212 Q	
5		0,0210	25,100	4,476 Q	

Pour tenir compte du poids de la corde, on a opéré comme il a été dit au n° 3, et l'on a ajouté $0^{kil},120$ au poids de chaque paire d'obus formant la charge, et $0^{kil},058$ au poids moteur. La corde employée pesait $0^{kil},0145$ le mètre courant, et son diamètre était de $0^{m},004$; elle était très souple.

Les résultats des expériences faites avec ces rouleaux, et dont deux ont été répétées devant M. Coriolis, membre de l'Académie des sciences, et avec le concours de M. Bellangé, directeur des études à l'école des ponts et chaussées et professeur de mécanique à l'Ecole centrale des arts et manufactures, sont consignés dans le tableau suivant.

Les poids indiqués dans la sixième colonne de ce tableau comme faisant équilibre à la résistance au roulement sont ceux qui entretenaient un mouvement uniforme, ainsi que l'on peut s'en assurer par les résultats de l'observation de la durée des tours et demi-tours consécutifs indiquée dans l'avant-dernière colonne.

NATURE des corps en contact.	LARGEUR des bandes.	NUMÉRO des rouleaux.	PRESSION: POIDS du rouleau.	PRESSION: CHARGE du rouleau y compris la corde.	PRESSION: POIDS moyen qui fait équil. à la résist. à la circonf. du corps du rouleau Q.	PRESSION: PRESSION totale du rouleau sur la bande R.	RÉSISTANCE au roulement rapportée à la circonf. du rouleau R.	VALEUR du rapport de la pression au rayon du rouleau $\frac{P}{r}$	VALEUR de la constante $A=\frac{Rr}{P}$ de la loi de Coulomb.
	m.		k.	k.	k.	k.	k.		
					3,858	156,418	2,037	878,75	0,00231
					4,038	156,598	2,132	879,76	0,00242
		1	62,200	90,360	4,338				Mouvem. accéléré.
					4,438				Idem
					3,758				Retardé.
Rouleaux de bois de chêne sur des bandes de sapin du Nord.	0,010	2	46,85	90,360	3,858	141,068	2,812	1093,54	0,00257
					3,908	161,688	4,193	1847,86	0.00227
		3	37,50	120,480	4,208				Un peu accéléré.
					4,058	161,838	4,334	1849,57	0,00235
		4	25,700	120,480	3,858	150,038	8,544	3530,30	0,00242
		5	25,100	120,480	3,858	149,438	17,268	7116,09	0,00241
								Moyenne générale	0,00240

<table>
<tr><th>VALEUR du rapport de la press. à la racine carrée du rayon du rouleau $\frac{P}{\sqrt{r}}$</th><th>VALEUR du nombre $A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$</th><th>DURÉES OBSERVÉES des tours et demi-tours des rouleaux.</th><th>OBSERVATIONS.</th></tr>
<tr><td>370,66</td><td>0,00549</td><td>Un demi-tour en 1",1 1",1 1",1 1",1 | 1" 1" 1" 1" | Un tour en 2".4 2";4</td><td></td></tr>
<tr><td>371,09</td><td>0,00575</td><td>— 2",1 2",05 2",10 2",25 | 2",05 2",00 2",05 1",85</td><td rowspan="4">Expérience faite en présence de M. Coriolis et avec le concours de M. Bellangé.</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>— 2",05 1",60 1",60 1",2 | 1",90 1",8 1",45 1",45</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>— 1",90 1",8 1",45 1",45</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Un tour en 4",7 5",7 arrêté</td></tr>
<tr><td>392,95</td><td>0,00716</td><td>— 1",4 1",4 1",4 | 1",3 1",2 1",2 | 1",3 1",3</td><td></td></tr>
<tr><td>544,15</td><td>0,00770</td><td>— 2" 1",9 1",9 2" | 1",7 1",7 | 2",0 1",9 | 2",8 2",8 | 1",8 1",9
2",7 2",7 | 1" 1" 1" 1"</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>— 1",6 1",4 1",2 1",2 | 1",4 1",5 1",3 1',1</td><td rowspan="2">Même observation.</td></tr>
<tr><td>546,75</td><td>0,00796</td><td>— 1",4 1",2 1",4 1",2 1",2</td></tr>
<tr><td>728,34</td><td>0,01174</td><td>— 1" 0",9 | 1" 1" | 1",1 1",1 | 1" 1" | 0",9 0",9 0",8 0",8</td><td></td></tr>
<tr><td>1030,60</td><td>0,01 677</td><td>— 0",8 0",8 0",8 0",8 | 1" 1" 1" | 1" 1" 1" 1" | 0",7 0",</td><td></td></tr>
</table>

LARGEUR des bandes.	POIDS propre de l'arbre et des roues.	CHARGE de l'arbre.	POIDS moteur à la circonfér. du corps de l'arbre.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvement uniforme.	PRESSION totale correspondante. P	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. des roues. R	RAPPORT de la résistance à la pression. $\frac{R}{P}$	NATURE du mouvement	SENS du mouvement.
m.	k.	k.	k.	k.	k.	k.			
			7,50					Retardé.	Retour.
			8,00					Uniforme.	Retour.
				8,50	262,80	1,785	0,00679		
	91,70	162,60	8,00					Retardé.	Aller.
			8,50					Retardé.	Aller.
			9,00					Uniforme.	Aller.
0,020			35,0					Uniforme.	Aller.
			34,0					Retardé.	Aller.
	91,70	325,20		34,50	451,40	7,245	0,01605		
			34,0					Uniforme.	Retour.
			65,0					Retardé.	Aller.
	91,70	482,9	70,0	70,00	644,60	14,700	0,02280	Uniforme.	Aller.
			2,50					Accéléré.	Aller.
			2,35					Uniforme.	Aller.
	91,70	»		2,325	94,025	0,488	0,00519		
			2,35						Retour.
			2,30					Uniforme.	Retour.
0,040	91,70	159,7	10,0	10,00	261,40	2,100	0,00804	Uniforme.	Aller.
			12,0					Accéléré.	Aller.
			20,0					Retardé.	Aller.
	91,70	320,3	23,0	23,00	435,00	4,830	0,01110	Uniforme.	Aller.
			40,0					Un peu accéléré.	Aller.
	91,70	480,9	38,0	38,00	610,60	7,980	0,01307	Uniforme.	Aller.

<table>
<tr><th>DURÉE DES TOURS OU FRACTIONS DE TOURS
des rouleaux.</th><th>OBSERVATIONS.</th></tr>
<tr><td>Le mouvement se retarde et s'arrête.
Un demi-tour en 2″ 2″ 2″,1 | 2″,1 2″,0 2″,2 | 2″ 2″ 2″,1 2″,1

Un demi-tour en 2″,7 3″,0 | 2″ 2″,4 | Arrêté.
Le mouvement se retarde et s'arrête.
Un demi-tour en 1″,8 1″,8 1″8 | 2″ 2″,2 2″ | 2″,1 1″,9 1″,9 2″,1 | 2″ 2″

Un tiers de tour en 2″ 2″ 2″,1 2″,2 2″,2 | 2″,4 2″3 2″,2 2″,4 | 2″,7 2″,5 2″.7 2″,3 2″,7
Un tiers de tour en 2″,5 2″,8 3″,3 4″,6

Un tiers de tour 1″ 1″ 1″ 1″ | 1″,2 1″ 1″,2 | 1″,2 | 1″,4 1″,3 1″,2 1″,4 1″,2

Le mouvement se ralentit et s'arrête.
Un tiers de tour en 1″,6 1″,7 1″,7 1″,7 | 1″,8 1″,8 1″,7 1″,7 | 2″,7 2″,7 2″,6 | 2″,4 2″,4 2″,5

Un tiers de tour en 2″ 1″,8 1″,6 1″,5 1″,4
Un tiers de tour en 2″,2 2″,0 2″,1 2″,0 2″2 | 2″,8 2″,8 2″,8 2″,8

Un tiers de tour en 1″,2 1″,2 1″,2 1″,0 1″,1 | 1″,1 1″,1 1″,1 | 1″,1 1″,1 1″,1 1″,1
Un tiers de tour en 1″,3 1″,2 1″,2 1″,3 | 2″,1 2″,2 2″,2 2″,1 | 1″,7 1″,6 1″6 1″,7

Un tiers de tour en 2″,6 2″,5 2″,5 | 2″,1 2″,2 2″,2 2″,1 | 1″,7 1″,6 1″,6 1″,7 | 2″,1 2″,1 2″,2
Un tiers de tour en 1″,7 1″,4 1″,3 1″,1 1″

Le mouvement se ralentit et s'arrête.
Un tiers de tour en 1″,2 1″,1 1″,1 1″,2 | 1″,4 1″,6 1″,4 1″,5 | 2″,1 2″2 2″,2 2″,1

Un tiers de tour en 1″,6 1″,6 1″,4 1″,3 1′2
Un tiers de tour en 1″,5 1″,5 1″,5 1″,4 | 1″,6 1″,6 1″,5 1″6</td><td>Dans cette série d'expériences, le bois de sapin a été altéré, déchiré, arraché latéralement, par l'effet de la pression et du mouvement. De longs éclats se détachaient sur les bords.</td></tr>
</table>

LARGEUR des bandes.	POIDS propre de l'arbre et des roues.	CHARGE de l'arbre.	POIDS moteur à la circonfér. du corps de l'arbre.	POIDS moteur moyen qui entretient le mouvement uniforme.	PRESSION totale correspondante. P	RÉSISTANCE rapportée à la circonfér. des roues. R	RAPPORT de la résistance à la pression. $\frac{R}{P}$	NATURE du mouvement	SENS du mouvement.
m.	k.	k.	k.	k.	k.	k.			
0,060	89,10	»	2,00	2,00	91,10	0,42	0,00461	Uniforme.	Aller.
	89,10	118,95	8,00					Un peu accéléré.	Aller.
			7,00	7,00	215,05	1,47	0,00684	Uniforme.	Aller.
	89,10	319,05	20,00						
			18,00	18,00	426,15	3,78	0,00887	Uniforme.	Aller.
	89,10	476,85	30,00	30,00	595,95	6,30	0,01057	Uniforme,	Aller.
			27,00						
0,080	89,10	»	2,50	2,50	91,60	0,420	0,00458	Uniforme.	Aller.
	89,10	156,55	7,00					Retardé.	Aller.
			8,00	8,00	253,65	1,680	0,00662		
	89,10	319,15	15,00					Retardé.	Aller.
			18,00	18,00	426,25	3,780	0,00882	Uniforme.	
	89,10	476,85	30,00					Un peu accéléré.	Aller.
			27,00	27,00	592,95	5,67	0,00956	Uniforme.	Aller.
			25,00					Retardé.	Aller.

DURÉE DES TOURS OU FRACTIONS DE TOURS des rouleaux.	OBSERVATIONS.
Un tiers de tour en 2″,4 2″,4 2″,5 | 1″,6 1″,6 1″,8 1″,8 | 1″,1 1″,1 1″,1 1″,1″	
Un tiers de tour en 1″,4 1″,3 1″,4 1″,3 1″,3 1″,3 | 1″,5 1″,3 1″,25 1″,3 1″,05 | 1″,5 1″,4 1″,3 1″,2	
Un tiers de tour en 2″,5 2″,3 2″,3 2″,4 | 2″,1 1″,9 2″,1 2″,0 | 1″,1 1″,1 1″,0 1″,0	
Un tiers de tour en 1″,5 1″,5 1″,5 1″,6 1″,4 | 1″,8 1″,7 1″,5 1″,4 | 1″,7 1″,6 1″,5 1″,4 1″,3	
Un tiers de tour en 1″,7 1″,7 1″,6 | 1″,2 1″,2 1″2, 1″,2 1″,3 | 0″,9 0″,9 0″,9 0″,9 0″,9	
Un tiers de tour en 1″,9 1″,8 1″,9 1″,9 | 1″,6 1″,5 1″,6 1″,5 | 2″,1 1″,8 2″,0 1″,9	
Le mouvement se retarde et s'arrête.	
Un tiers de tour en 1″,3 1″,2 1″,3 1″,2 1″,4 1″,2 | 1″,2 1″,2 1″,3 1″,2 1″,3 | 1″,1 1″,1 ″,2 1″,2 1″,2 1″,2	
Le mouvement se retarde et s'arrête.	
Un tiers de tour en 1″,5 1″,4 1″,5 1″,5 1″,5 | 1″,4 1″,4 1″,6 1″,4 | 1″,4 1″,5 1″,5 1″,5	
Le mouvement se retarde et s'arrête.	
Un tiers de tour en 1″,6 1″,5 1″,6 1″,7 1″,7 1″,5 | 1″,2 1″,2 1″,1 1″,1 1″,1 1″,2 | 1″,7 1″,6 1″,6 1″,7 1″,6	
Un tiers de tour en 1″,4 1″,4 1″,3 1″,2 | 1″,4 1″,4 1″,3	
Un tiers de tour en 2″,0 2″,0 1″,9 2″,0 | 1″,4 1″,3 1″,4 1″,4 | 1″,7 1″,9 1″,7 1″,8	
Un tiers de tour en 2″,4 3″,7 5″,8 | 2″,4 2″,5 2″,9 3″,4	

9. *Conséquences des résultats contenus dans le tableau précédent.* — En examinant ce tableau, nous voyons que, pour les bandes de $0^m,020$ de largeur, le rapport de la résistance R à la pression atteint successivement les valeurs 0,00679 0,01605 0,02280
pour des pressions de $262^k,80$ $451^k,40$ $644^k,60$

Cet accroissement si rapide de la valeur du rapport de la résistance à la pression tient, dans ce cas particulier, à une circonstance qu'il importe de signaler. Les couches des fibres ligneuses étant obliques par rapport à la surface horizontale et même par rapport à la direction longitudinale des bandes, et la pression, par centimètre de largeur, étant, vu la faible largeur de ces bandes, assez considérable pour altérer complétement l'élasticité, il est arrivé qu'à la pression de $451^k,40$ et au delà, le scouches latérales ont glissé les unes sur les autres, et qu'il s'est formé, sur les angles des bandes, des fentes, des éclats dont la longueur a toujours été en croissant, et que, le bois devenant de plus en plus énervé, la résistance s'est accrue rapidement dans un rapport beaucoup plus grand qu'il ne serait arrivé sans cette circonstance. Je n'insiste donc pas sur cette expérience, où la pression sur chaque centimètre de largeur a dépassé d'une manière très considérable les limites de l'élasticité, et je passe aux autres séries.

Si, pour en discuter plus facilement les résultats, et en saisir l'ensemble d'un coup d'œil, on les représente par une construction graphique, en prenant les pressions pour abscisses, et les rapports de la résistance à ces pressions pour ordonnées (Pl. I, *fig.* 3), on voit de suite que, dans chaque série, le rapport de la résistance à la pression, au lieu d'être constant, augmente de plus en plus avec la pression; ce qui prouve que, dans le cas actuel, la résistance au roulement n'est pas proportionnelle à la pression.

De plus, si l'on compare les courbes relatives aux largeurs de 40 et de 80 millimètres obtenues avec des bandes tirées du même madrier, et dont le bois, posé à plat, avait ses couches ligneuses à très peu près parallèles au plan horizontal, on voit que le rapport de la résistance à la pression est constamment et de beaucoup plus considérable pour la plus petite largeur que pour la grande, et que la différence s'accroît avec la pression ; ce qui est complétement d'accord avec les résultats des expériences faites en 1838 sur le sol mou et humide du polygone de Metz, dont il sera parlé plus tard, et de celles qui ont été faites à Vincennes, en 1840, sur le bois, relativement à l'influence de la largeur de la zone de contact.

Enfin, si l'on observe la marche des courbes, qui représentent les résultats des expériences, on voit que l'accroissement relatif du rapport de la résistance à la pression, mesuré par l'inclinaison des tangentes à ces courbes, di-

minue graduellement à mesure que la pression augmente, et que cette diminution est même plus sensible et plus rapide pour la largeur de 80 millimètres que pour celle de 40 millimètres.

Cette observation peut nous servir à comprendre comment Coulomb, qui a opéré à des pressions de 100 à 1000 livres, sur des rouleaux d'orme et de gaïac, roulant sur du chêne, a pu trouver que le rapport de la résistance à la pression était à peu près constant. Il suffit, en effet, qu'il ait employé des bandes d'une largeur de 0m,15 à 0m,20 pour que l'accroissement de ce rapport avec la pression ait été peu sensible dans les limites de pression qu'il a fait supporter à ces bois durs.

Quoi qu'il en soit, il me semble démontré par ces expériences que, sur le bois, la résistance croît plus rapidement que la pression, et qu'elle augmente quand la largeur diminue.

La série d'expériences relatives à la largeur de 60 millimètres conduit également aux mêmes conclusions; mais, comme les couches ligneuses du bois étaient placées de champ, cette pièce offrait à proportion une plus grande résistance à la compression que celles de 40 et de 80 millimètres. Cette circonstance explique pourquoi la courbe qui représente les résultats de cette série ne se trouve que d'une petite quantité au dessus de celle qui est relative aux bandes de 80 millimètres, surtout aux fortes pressions.

EXPÉRIENCES SUR L'IMPRESSION PRODUITE PAR DES ROULEAUX CYLINDRIQUES EN BOIS SUR DES BLOCS DE CAOUTCHOUC.

10. *But de ces expériences.* — Afin d'étudier les effets de compression que des rouleaux cylindriques produisent en passant sur des corps élastiques, je me suis procuré des blocs de caoutchouc de 0m,10 d'épaisseur, 0m,25 de largeur et 0m,40 de longueur, rendus aussi homogènes que possible par le travail qu'on leur fait subir avant de les découper en feuilles. Sur ces blocs, dont la surface était dressée et placée exactement de niveau, j'ai posé des rouleaux de bois réunis par un axe en bois, auquel ils étaient liés et sur le milieu duquel agissait un poids suspendu à une corde.

11. *Données et premiers effets apparents.* — Aussitôt que la charge était posée, on mesurait la profondeur d'impression par l'observation de la quantité dont les deux rouleaux s'étaient abaissés par rapport à une horizontale à laquelle les surfaces de caoutchouc avaient été, au préalable, répérées. On notait cette première impression, qui s'accroissait ensuite très lentement, et n'atteignait son maximum que 12 et quelquefois 24 heures après la pose de la charge.

On a eu ainsi deux sortes d'impressions : d'abord celles qui avaient lieu de

suite, et que je nommerai *profondeurs immédiates d'impression*, et ensuite les *profondeurs définitives* ou maxima.

La température exerce sur la résistance du caoutchouc une influence considérable; mais, comme j'ai opéré dans les derniers jours d'octobre 1841, et dans un appartement sans feu, elle a toujours été comprise entre 12° et 14° centigrades.

J'ai employé à ces expériences des rouleaux des diamètres de

$0^m,399$, $0^m,321$, $0^m,240$, $0^m,1605$, $0^m,0816$,

avec une largeur constante de $0^m,050$,
et des rouleaux des largeurs de

$0^m,147$, $0^m,098$, $0^m,050$, $0^m,025$, $0^m,010$,

avec un diamètre de $0^m,239$ à $0^m,240$.

Les charges, y compris le poids des rouleaux, ont varié de 5 en 5 kilogrammes jusqu'à 45 kilogrammes. Il n'a pas été possible d'aller plus loin, parce que les arbres en bois fléchissaient déjà sensiblement à 45 kilogrammes, et que l'élasticité du caoutchouc eût été en partie altérée.

Les profondeurs définitives d'impression observées sont consignées dans le tableau suivant :

12. *Influence des diamètres sur la profondeur de pénétration dans le caoutchouc.*

PROFONDEURS DÉFINITIVES D'IMPRESSION DES ROULEAUX EN BOIS DANS LE CAOUTCHOUC SOUS LA CHARGE DE 40 KILOGRAMMES.

LARGEUR de chaque rouleau.	DIAMÈTRE des rouleaux.	PRESSION.	PROFONDEUR d'impression.	OBSERVATIONS.
mill. 50	mill. 399	kil. 40	mill. 8,0	
50	321	40	9,0	
50	240	40	10,3	
50	160,5	40	10,5	Le rouleau, de 160 mill., 5 de diamètre, avait un de ses bords chanfreiné, et présentait par suite un demi-millimètre de plus de largeur lorsque la pénétration avait atteint 5 millim. Cette circonstance a dû diminuer la profondeur totale de pénétration.
50	81,6	40	11,8	

13. *Déformation de la surface comprimée.* — La pénétration réelle des rouleaux n'est pas le seul effet de compression que produise leur action. L'empreinte n'est pas limitée sur le caoutchouc, comme elle le serait à peu

près dans le sable, par l'intersection du prolongement du plan avec la surface du rouleau. Il se produit en avant, en arrière et sur les côtés du cylindre, des dépressions qui s'étendent à une grande distance. Les figures 4, 5, 6, 7, 8, 9, pl. I, relatives aux rouleaux de 399, 240 et 81,6 millimètres de diamètre, donnent une idée exacte de la forme des dépressions produites, et font voir que les rouleaux ne sont pas en contact avec tout le développement de l'arc, dont la profondeur d'impression est la flèche. On voit même que le volume de la dépression est, à proportion, plus considérable pour les petits diamètres que pour les grands.

On peut déjà prévoir d'après cela que la comparaison du volume du segment cylindrique correspondant à cet arc ne saurait donner une mesure complète des effets de compression. En effet, si l'on calcule ces volumes par la formule connue

$$V = L\left(r^2 \operatorname{arc\,sin}\frac{\sqrt{(2r-e)e}}{r} - (r-e)\sqrt{(2r-e)e}\right)$$

dans laquelle

V représente le volume cherché,

L la largeur du rouleau,

r le rayon du rouleau,

e la profondeur d'impression,

on a les résultats consignés au tableau suivant :

RAYONS des rouleaux.	PROFONDEURS d'impression.	VOLUMES des segments cylindriques.	OBSERVATIONS.
m.	m.	m. c.	
0,1995	0,0080	0,00003000	
0,1605	0,0090	0,00003198	
0,1200	0,0103	0,00002680	
0,0408	0,0118	0,00002460	

14. *Relation entre les diamètres et les profondeurs d'impression.* — Si l'on cherche la relation entre les profondeurs d'impression et les diamètres, on trouve que ces profondeurs ne varient ni en raison inverse des diamètres, ni en raison inverse des racines carrées ou cubiques de ces diamètres, mais à peu près en raison inverse de leurs racines quatrièmes et cinquièmes; c'est ce que l'on peut voir par le tableau suivant, où l'on a calculé les valeurs des

produits $e\sqrt[4]{2r}$ et $e\sqrt[5]{2r}$, qui doivent être constants si la profondeur d'impression suit à peu près l'une ou l'autre des dernières lois indiquées.

DIAMÈTRES des rouleaux.	PROFONDEURS d'impression.	VALEURS DE $e\sqrt[4]{2r}$	VALEURS DE $e\sqrt[5]{2r}$	OBSERVATIONS.
mill.	mill.			
399	8,0	35,76	26,48	
321	9,0	38,07	26,53	
240	10,3	40,58	30,80	
160,5	10,5	37,38	28,98	
81,6	11,8	35,52	28,14	
	Moyenne	37,46	28,65	

Il résulte de cette comparaison que les profondeurs d'impression des cylindres de bois dans le caoutchouc, à la température de 12° à 14° centigrades, sont, à largeur égale de $0^m,050$, à très peu près, en raison inverse de la racine quatrième ou de la racine cinquième des diamètres, et peuvent être ainsi calculées approximativement par les formules

$$e=\frac{37.46}{\sqrt[4]{2r}} \text{ ou } e=\frac{28.65}{\sqrt[5]{2r}},$$

dans lesquelles e et r seraient exprimés en millimètres.

15. *Influence de la largeur des rouleaux sur la profondeur d'impression.* — Des expériences analogues ont été exécutées pour étudier la variation des profondeurs d'impression par rapport aux largeurs des rouleaux à même diamètre et même pression. Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant, et représentés pl. I, fig. 10.

Profondeurs d'impression des rouleaux en bois de sapin de $0^{m},239$ *de diamètre dans le caoutchouc, sous la pression de* 40 *kilogrammes, après* 24 *h. de contact.*

LARGEURS des rouleaux.	PROFONDEURS d'impression.	OBSERVATIONS.
m.	mill.	
0,147	2,8	
0,098	7,0	
0,050	10,3	
0,025	13,5	
0,010	14,0	

La figure 10, pl. I, dans laquelle les largeurs sont prises pour abscisses, et les profondeurs d'impression pour ordonnéees, fournit une courbe dont la continuité montre que, malgré la faible profondeur obtenue avec les rouleaux de 147 millimètres de largeur, les résultats de l'observation sont soumis à une assez grande régularité.

Si l'on substitue à la courbe de la figure 10 une ligne droite dont l'équation serait

$$e = 2^{mill},8 + 0,0817\,(147 - L),$$

on voit que cette relation, ou la ligne droite correspondante, reproduit avec une exactitude assez grande les résultats de l'observation ; on a en effet

PROFONDEURS d'impression.	LARGEURS DES ROULEAUX.				
	147 mill.	98 mill.	50 mill.	25 mill.	10 mill.
Observées......	mill. 2,8	mill. 7,0	mill. 10,3	mill. 13,5	mill. 14 ,0
Calculées.......	2,8	6,8	10,7	12,8	14,0

Sans vouloir faire de rapprochement entre des expériences de natures diverses, exécutées sur des matières totalement différentes, je dirai seulement que ce résultat est tout à fait analogue à celui que j'ai trouvé en recherchant directement les variations de la résistance au roulement sur le sable et sur le terrain mou et humide du polygone de Metz, et dont il sera parlé plus loin.

16. *Conclusions de ces expériences.* — Ces expériences montrent que, même sur des sols homogènes et élastiques, la résistance au roulement ne saurait être indépendante de la largeur de la zone de contact, et qu'elle doit augmenter quand cette largeur diminue.

17. *Influence de la pression sur la profondeur d'impression.* — Pour examiner l'influence de la pression sur les profondeurs immédiates d'impression, j'ai observé les profondeurs correspondantes à des charges variables de 5 en 5 kilogrammes, pour cinq largeurs différentes des rouleaux, en les mesurant 3 à 4' après la pose de la charge, et lorsqu'elles ne croissaient plus qu'avec beaucoup de lenteur. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant :

Expériences sur les variations des profondeurs d'impression des rouleaux cylindriques dans du caoutchouc, en fonction des pressions et des largeurs.

DIAMÈTRES.	LARGEUR des rouleaux.	PRESSION.								
		5	10	15	20	25	30	35	40	45
m. 0,239	m. 0,147	»	mill. 0,5	mill. 1,0	mill. 1,5	mill. 2,0	mill. 2,7	mill. 3,0	mill. 3,2	mill. 4,0
0,239	0,098	»	1,2	1,9	2,6	3,2	3,8	4,4	4,9	5,6
0,240	0,050	1,0	2,0	2,8	3,9	4,6	5,5	6,4	7.4	»
0,239	0,025	1,0	1,9	3,0	4,0	5,0	5,9	7,0	8,0	»
0,239	0,010	1,2	3,0	4,5	6,3	8,7	9,3	11,0	12,6	»

Les résultats de ces expériences sont représentés dans les figures 11, 12, 13, 14, 15, planche I, où l'on a pris les charges pour abscisses à l'échelle de 20 millimètres pour 5 kilogrammes, et les profondeurs d'impression pour ordonnées à l'échelle de 4 millimètres pour 1 millimètre.

18. *Conséquences de ces expériences.* — La simple inspection de ces cinq figures montre que les profondeurs d'impression sont proportionnelles aux charges, puisque tous les sommets des ordonnées sont sur une même ligne droite passant par l'origine des abscisses.

On remarque de plus que ces lignes droites font avec l'axe des abscisses des angles qui croissent graduellement à mesure que la largeur des rouleaux diminue; ce qui prouve encore que la profondeur d'impression augmente quand la largeur du rouleau diminue. La comparaison des résultats d'observation consignés au tableau ci-dessus semblerait indiquer que les rouleaux de 50

millimètres et ceux de 25 millimètres donneraient aux faibles charges des impressions égales ; mais l'ensemble ou l'inclinaison des lignes droites montre le contraire, et je pense que les impressions obtenues avec les rouleaux de 50 millimètres ont été généralement un peu trop grandes par rapport aux autres.

Si, partant de la proportionnalité ainsi établie des profondeurs immédiates d'impression aux pressions, nous cherchons à les comparer aussi aux largeurs, nous trouvons que la loi de ces impressions en fonction de la pression et de la largeur est assez bien représentée, surtout pour les largeurs extrêmes de 147, 25 et 10 millimètres, par la formule

$$e = \frac{P}{\sqrt{L}},$$

dans laquelle P représente la pression exprimée en kilogrammes, e et L la profondeur d'impression et la largeur en millimètres.

Quant aux largeurs de 98 et de 50 millimètres, les profondeurs d'impression observées sont plus grandes que celles que l'on déduit de la formule, ce qui peut tenir à quelque différence assez probable dans l'état ou la dureté des surfaces.

Le tableau suivant donne la comparaison des résultats de l'observation et du calcul pour les pressions comprises de 15 à 40 kilogrammes, pour lesquelles les mesures ont pu être prises le plus exactement, et pour toutes les largeurs.

LARGEURS des rouleaux.	RACINES carrées des largeurs.	PRESSIONS EN KILOGRAMMES.											
		15		20		25		30		35		40	
		PROFONDEURS D'IMPRESSION EN MILLIMÈTRES.											
		Observées.	Calculées.	Observées.	Calculées.	Observées.	Calculées.	Observées.	Calculées.	Observées.	Calculées.	Observées.	Calculées.
mill. 147	12,12	1.00	1,23	1,50	1,65	2,00	2,06	2,70	2,47	3,00	2,88	3,20	3,30
98	9,90	1,90	1,51	2,60	2,02	3,20	2,57	3,80	3,03	4,40	3,53	4,90	4,04
50	7,07	2,80	2,12	3,90	2,82	4,60	3,53	5,50	4,24	6,40	4,95	7,40	5,65
25	5,00	3,00	3,00	4,00	4,00	5,00	5,00	5,90	6,00	7,00	7,00	8,00	8,00
10	3,16	4,50	4,74	6,30	6,33	8,70	7,91	9,30	9,49	11,00	11,07	12,60	12,66

19. *Réaction élastique du caoutchouc.* — Dans les expériences que l'on vient de rapporter, les impressions produites ont toujours disparu presque en totalité, et il n'y a que celles qui ont été formées par les rouleaux de 0m,010 et de 0m,025 de largeur, sous la charge de 40 kilogrammes, qui aient laissé de légères traces visibles et d'une profondeur d'un demi-millimètre à un quart de millimètre. Ainsi le corps comprimé est revenu à sa forme primitive, et s'est comporté comme un corps doué d'une élasticité à très peu près parfaite.

Mais dans cette réaction il y a une circonstance importante, dont il faut tenir compte, et que l'on a, je crois, trop négligée jusqu'ici dans les études théoriques sur la réaction élastique des corps : c'est le temps que les corps comprimés mettent à revenir à leur forme primitive, ou ce que l'on pourrait appeler la *vitesse de retour* vers cette forme. Examinons, en effet, quelques résultats d'expériences.

Le rouleau de 0m,239 de diamètre et 0m,147 de largeur, chargé de 45 kilogrammes, avait produit une impression de 4 millim. En réduisant la charge à 10 kilogrammes, l'impression se réduisit de suite à 1mill,7, et 2 heures après elle était seulement de 0mill,7. Ainsi le corps était revenu sur lui-même de 2mill,3 en 1′ ou 2′, temps nécessaire pour opérer le déchargement et mesurer l'impression; puis, en 2 heures, il n'était revenu que de 1 millimètre.

Le rouleau de 0m,240 de diamètre et 0m,050 de largeur, chargé de 40 kilogrammes, avait produit une impression de 7mill,4. La charge étant réduite à 5 kilogrammes, la profondeur d'impression le fut de suite à 4mill,1; 23′ après, elle n'était plus que de 2mill,3. — Différence, 1mill,8 en 23′.

A 8 h. 35′ on enleva les 5 kilogrammes restant, et l'impression ne fut plus trouvée que de 1mill,50; à 9 h. 30′ du soir, ou environ 13 h. après, elle avait disparu.

Le rouleau de 0m,239 de diamètre sur 0m,010 de largeur, chargé à 11 h. 35′ de poids croissant de 30 kilogrammes jusqu'à 40 kilogrammes, avait produit une impression de 12mill,6; à 1 h. 55′, la charge étant réduite à 5 kilogrammes, l'impression le fut à 8mill,5. La matière revint donc sur elle-même de 4mill,1 en 2 ou 3′; à 2 h., ou 5′ après, l'impression était réduite à 2mill,6. Différence, 0mill,9 en 5′. A 2 h. 40′, l'impression n'était plus que de 5 millimètres. Différence, 2mill,5 en 40′.

Deux ou trois jours après, cette impression n'avait pas encore complétement disparu.

Ces observations montrent que la vitesse de retour du caoutchouc vers sa forme primitive va sans cesse en décroissant, depuis l'instant où la pression cesse ou diminue, jusqu'à celui où il a repris cette forme, et que cette vitesse

est très lente dans les derniers instants. Or, comme ces effets observés d'une manière sensible sur ce corps, à la fois si compressible et si élastique, doivent se produire d'une manière analogue, quoiqu'à des degrés différents, dans tous les corps élastiques, cela prouve que la vitesse de retour propre ou relative des corps qui se compriment réciproquement doit jouer dans les effets de réaction un rôle important, qui n'a pas été assez étudié.

20. *Des effets de réaction élastique des routes.* — Quant aux routes ordinaires en empierrement, composées de matériaux désagrégés, rapprochés seulement par le tassement, on voit évidemment que cette réaction, faible par elle-même, devra être toujours assez lente pour que son effet sur le mouvement des voitures soit à peu près nul ou insignifiant. Il en sera très probablement de même de l'effet de débandement des roues sur le pavé; et, toutes les fois que celui-ci ne sera pas tellement serré, que les pierres qui le composent ne puissent glisser les unes par rapport aux autres, la réaction élastique sera très faible. Le pavé de Paris à joints larges, dont les éléments sont mobiles et presque isolés, ne réagira donc que lentement et par l'effet assez faible du sable sur lequel il repose. Au contraire, un pavé très serré, à joints unis et fortement damé, comme celui de Metz, pourra réagir plus rapidement, par l'action propre des pierres qui le composent, et par celle de l'espèce de voûte qu'elles forment; mais ce dernier effet sera encore généralement trop lent pour être utile au mouvement des véhicules.

Sur les chemins de fer, en admettant que les rails soient assez durs pour ne pas éprouver cet effet de laminage que l'on observe sur les fers tendres fabriqués au laminoir, la réaction sera beaucoup plus rapide; mais, la vitesse de transport étant de 9 à 12 mètres par seconde, il est encore probable que la puissance motrice recevra fort peu d'aide de cette réaction. Il y a cependant lieu de croire que le rapprochement des pierres, des gîtes en bois, qui reçoivent les chaises en fonte, en diminuant la flexion des rails, atténuerait la résistance ou le travail consommé dans le transport.

Remarquons enfin, quant à ce qui concerne les effets physiques produits par le roulement des corps cylindriques sur des surfaces plus ou moins compressibles et élastiques, que, si d'une part la quantité de travail qui peut être restituée par l'élasticité du sol est d'autant moindre que le mouvement est plus rapide, de l'autre, nous avons vu que la profondeur d'impression, et par suite la résistance au roulement, diminuait avec la durée du contact. D'où il suit qu'il se produit alors deux effets contraires, qui tendent à se compenser d'une manière plus ou moins complète, et dont l'influence est d'ailleurs généralement assez faible pour que, dans tous les cas où il n'y a pas de chocs, la résistance au roulement puisse être regardée comme sensiblement

indépendante de la vitesse; ce qui est tout à fait conforme aux résultats des expériences sur le tirage des voitures sur les sols mous que l'on rapportera plus loin.

21. *Réflexions générales relatives à l'influence de la pression sur la résistance.* — En rapprochant les résultats de ces expériences de ceux qui ont été obtenus sur les bois, on voit que, dans le roulement des cylindres sur des corps élastiques, les profondeurs des impressions sont sensiblement proportionnelles aux pressions, tant que l'élasticité n'est pas altérée, et que, sous ce rapport, il importe, dans la construction des chemins de fer, d'employer des fers durs plutôt que des fers tendres.

Sur les bois et sur les corps homogènes dont la pression altère l'élasticité, les expériences rapportées au numéro 8 montrant que la résistance au roulement croît plus rapidement que la pression, on voit que les pavages en bois essayés depuis plusieurs années à Londres, et récemment importés à Paris, ne conviennent pas pour les routes ou les chemins fréquentés par de gros chargements.

Enfin, l'on verra plus loin que, sur les routes en empierrement solide, le rapport de la résistance à la pression est sensiblement constant entre des limites de chargements qui comprennent à peu près tous ceux de la pratique.

Il suit donc de là que la loi de la proportionnalité de la résistance au roulement à la pression, admise par Coulomb et par d'autres expérimentateurs ou théoriciens, n'est pas une loi générale et mathématique, et qu'elle n'est approximativement vraie que pour certains cas, auxquels il faut en borner l'application. C'est ici le premier exemple qui, dans cette étude si complexe des effets du roulement des corps les uns sur les autres, nous montre qu'il n'existe pas de loi générale qui en régisse les effets physiques.

EXPERIENCES SUR LE TIRAGE DES VOITURES.

22. Après avoir exposé les expériences préliminaires, qui précédent, passons à l'examen de celles qui, exécutées sur les routes de diverses natures, avec des voitures, des chargements, des roues, des vitesses, et en général dans des circonstances tout à fait analogues à celles de la pratique, nous permettront d'en déduire des règles, sinon rigoureuses, du moins suffisamment voisines de la vérité pour répondre aux besoins de l'industrie si importante des transports.

23. *Appareils employés aux expériences.* — Les appareils employés ont varié suivant le genre et l'objet des expériences, et dans celles qui ont été faites en 1835 et 1836, par lesquelles je me proposais principalement d'étudier les lois de la résistance éprouvée par un corps cylindrique qui roule sur une surface plane, en examinant séparément l'influence de la pression, du diamètre et de la largeur du cylindre, et celle de la vitesse, j'ai employé l'arbre en fonte qui m'avait servi précédemment aux expériences sur le frottement des tourillons (1). Sur cet arbre, parfaitement cylindrique, on plaçait à volonté des disques pleins, en fonte, tournés au diamètre exact de $0^{m},787$, ou des poulies de $0^{m},400$. En changeant le nombre des disques et des poulies, on pouvait faire varier la pression, la largeur des surfaces frottantes et le diamètre du rouleau.

Ce rouleau fut posé d'abord sur une surface horizontale formée de terre argileuse qui avait été battue, damée pendant très long-temps, comme une aire de grange, et mise parfaitement de niveau; ensuite sur une couche de sable fin de la Moselle, puis sur de longues pierres bien dressées, sur des pièces de bois, sur des bandes de fer, de fonte, etc.

Dans le prolongement de l'axe longitudinal de ce banc était placée la poulie de renvoi, avec son plateau en cuivre et l'appareil chronométrique à style employés et décrits dans les expériences sur le frottement (2). Un cordon de soie, entouré et fixé par un bout, soit sur l'arbre même ou sur un des rouleaux, passait sur la poulie, et soutenait à l'autre bout une caisse dans laquelle on plaçait un poids moteur.

Le rouleau, ramené à bras vers l'extrémité du banc la plus éloignée de

(1) Nouvelles expériences sur le frottement des axes de rotation. — Paris, 1838, chez Carilian-Gœury.

(2) Voyez le premier et le troisième mémoire sur les nouvelles expériences sur le frottement faites à Metz en 1831 et 1832. — Chez Bachelier, libraire à Paris.

la fosse, y était arrêté par un déclic, et, dès qu'on lâchait celui-ci, le poids moteur produisait le mouvement, dont la loi était tracée sur le plateau de la poulie par le style de l'appareil chronométrique.

Je ne crois pas devoir entrer dans plus de détails sur cet appareil, parce que son analogie avec celui qui a été employé aux expériences sur le frottement est assez grande pour m'en dispenser. J'ajouterai seulement qu'en 1836 j'avais substitué au premier appareil chronométrique à style celui que j'avais plus tard fait construire pour les expériences de la commission des principes du tir de l'école de Metz, et qui donnait la loi graphique du mouvement avec beaucoup plus de précision.

Ce mode d'expérimentation était, comme on le voit, semblable à celui que Coulomb avait employé dans les expériences qu'il fit sur le frottement de roulement. Mais, quoiqu'il fût beaucoup plus précis, je reconnus bientôt par le relèvement des courbes que dans tous les cas où les corps en contact sont durs, et par conséquent la résistance très faible, le moment d'inertie des masses ainsi mises en mouvement, ayant toujours une très grande valeur comparativement à cette résistance, la moindre incertitude dans sa détermination, toujours fort délicate, entraînait des erreurs telles, qu'il était impossible de lier les résultats entre eux d'une manière certaine et qui ne laissât rien à l'arbitraire. Je fus donc obligé de renoncer à un travail de près d'une année, et de le recommencer sur nouveaux frais et avec d'autres moyens d'observation.

24. *Appareil avec arbre en fonte employé avec des chevaux.* — Le même arbre en fonte *aa*, pl. II, fig. 1 et 2, chargé de disques, a été disposé de la manière suivante pour les expériences à faire avec un véhicule analogue aux charrettes traînées par des chevaux et sur différents terrains. Ses deux extrémités ont reçu de petits tourillons *bb*, par lesquels il se liait à un cadre de traction *ccdd*. Sur les deux côtés de ce cadre *cd*, ont été fixés deux brancards, et sur la traverse antérieure *cc*, on a placé un dynamomètre à style avec plateau tournant ou à cylindres (1). Les chevaux s'attelaient à un palonnier mobile, et, afin que celui qui était dans le brancard ne fût pas chargé à dos ou en sens contraire, on équilibrait le brancard par des contre-poids en fonte placés aux extrémités *d* des branches latérales du cadre.

Les disques étant centrés et tournés exactement, on pouvait, en en plaçant plusieurs l'un à côté de l'autre, avoir des jantes de différentes largeurs. Des boulons traversaient ces disques ainsi réunis, et les tenaient rapprochés. Des

(1) Voyez pour la disposition, la construction et l'usage de ces instruments, la description des appareils dynamométriques par A. Morin. 2e édition. Chez L. Mathias, libraire à Paris.

clefs de calage les liaient à l'arbre avec lequel ils tournaient. Outre ces grands disques, on en pouvait placer de plus petits, destinés à faire varier la pression sans changer la largeur et le diamètre des autres.

Pour faire aussi des expériences avec les roues ordinaires, on remplaçait les petits tourillons *bb* de l'arbre par des fusées d'essieu qui s'engageaient par une portée cylindrique dans l'extrémité creuse de cet arbre, et qui recevaient des roues. L'ensemble de l'appareil restait le même, et le nombre de disques placés sur l'arbre déterminait la charge.

On voit que cet appareil constituait une véritable charrette en équilibre autour de son axe de rotation.

25. *Appareil employé avec les voitures.* — Quant aux expériences faites avec les diverses voitures, et qui constituent la plus grande partie de celles que nous avons exécutées, il a suffi de placer sur l'avant-train un des appareils dynamométriques décrits dans la notice citée, ce qui n'exigeait qu'un léger changement dans la ferrure propre à chaque voiture. Je me bornerai, en conséquence, à renvoyer à cette notice pour tout ce qui tient à ces appareils et à leur usage.

Il est cependant nécessaire de rappeler que ces instruments se composent principalement de deux lames de ressort, construites de manière à prendre des flexions proportionnelles aux efforts auxquels elles sont soumises, et qu'un style, fixé à l'une des lames, laisse sur une feuille de papier une trace de toutes les flexions; que cette feuille, circulaire dans les premiers appareils, et en bande allongée dans les derniers, reçoit un mouvement qui est dans un rapport constant avec le chemin parcouru, et qu'alors l'aire comprise entre la courbe des flexions et une autre ligne qui représente le zéro des efforts donne exactement la quantité d'action ou de travail développée par le moteur, d'où l'on déduit facilement son effort moyen.

Dans un autre appareil destiné à des expériences sur de grandes étendues de chemin à parcourir, on a substitué au style un compteur qui totalise la quantité de travail développée sur une étendue de chemin déterminée.

Ces deux genres d'appareils, employés dans des circonstances identiques, fournissent les mêmes résultats, ainsi qu'on le verra plus tard.

26. *Marche suivie pour étudier l'influence des différentes circonstances sur le tirage.* — Les causes qui peuvent exercer sur l'intensité du tirage et sur la destruction des routes une influence régulière et notable, qu'il s'agissait d'étudier et de constater, sont :

1° La charge ou pression exercée sur le sol;

2° Le diamètre des roues;

3° La largeur des bandes de roues;

4° La vitesse de transport;

5° L'inclinaison de la ligne de traction;

6° La suspension ou l'élasticité plus ou moins parfaite du véhicule.

Pour montrer que l'on a procédé avec méthode dans l'examen de ces diverses influences, il ne sera pas superflu d'indiquer succinctement la marche qui a été suivie.

27. *Moyens employés pour reconnaître l'influence de la grandeur du diamètre des roues.* — Pour reconnaître l'influence du diamètre des roues, on a fait varier cette dimension dans des limites très étendues, qui comprennent tous les diamètres en usage dans l'industrie, depuis les roues des camions jusqu'à celles des triqueballes de l'artillerie, qui ont $2^{m},05$ de diamètre.

Les expériences de 1838 relatives aux diamètres des roues ont été faites en parcourant successivement différentes parties de la route de Metz à Thionville, qui est en empierrement très solide, de graviers roulés par la Moselle; et, dans le calcul des résultats, on a tenu compte de la pente des portions parcourues, qui n'étaient pas toujours les mêmes. Cette différence d'emplacement ne pouvait exercer d'influence notable sur les résultats, attendu que sur toute la portion parcourue, la route était au même état et à la même exposition. Il est facile de s'en convaincre par l'examen de ces résultats dans chacune des séries exécutées avec une même voiture passant sur des emplacements différents. Je dois dire, néanmoins, que, n'ayant pas à cette époque l'expérience, que j'ai acquise depuis, de l'influence d'une légère variation dans l'humidité ou la sécheresse du sol, je n'avais pas attaché assez d'importance à cette circonstance.

Aussi j'ai cru devoir répéter avec le plus grand soin, en 1839, les mêmes expériences, en prenant toutes les précautions possibles pour que l'état de sécheresse de la route et les emplacements parcourus fussent exactement les mêmes.

Presque toutes ces expériences ont été exécutées avec des voitures à quatre roues, et les plus décisives avec des chariots à roues égales à l'avant-train et au train de derrière; j'ai préféré pour cette étude ce genre de véhicules à ceux qui n'ont que deux roues, parce qu'avec ces derniers il est extrêmement difficile d'éviter qu'il ne s'exerce, soit de haut en bas sur la dossière, soit de bas en haut sur la sous-ventrière, une pression qui occasionne un frottement sur les brancards dans le premier cas, ou sur le ventre du limonier dans le second, et par l'effet duquel se transmet à la voiture un effort de traction qui n'est pas accusé par le dynamomètre, et qui, par conséquent, altère l'exactitude des résultats. On peut, avec beaucoup d'attention, diminuer, atténuer cet effet; mais il est toujours plus sûr d'employer des voitures à

quatre roues, et surtout à quatre roues égales. Quant à la différence de résistance qui pourrait exister entre les roues de derrière et celles de devant, je n'y ai eu aucun égard, attendu que, mes expériences ayant principalement pour objet l'étude du tirage sur les routes en empierrement solide et sur le pavé, il n'y a dans ces cas aucune différence appréciable entre la résistance relative éprouvée par les deux trains. Je ferai voir par la suite, au moyen d'expériences directes, qu'il en est même encore ainsi sur ces routes quand il y a des ornières profondes.

28. *Dispositions prises pour reconnaître l'influence de la largeur des bandes de roues.* — Les rapports qui existent entre l'intensité du tirage et la largeur de la jante ou de la bande de roue ont été constatés à l'aide du dispositif décrit au n° 24, en plaçant successivement sur l'arbre en fonte deux, quatre, six, huit, dix et même douze disques de $0^m,045$ d'épaisseur moyenne, ce qui donnait aux bandes des largeurs respectives de

$$0^m,045,\quad 0^m,090,\quad 0^m,135,\quad 0^m,180,\quad 0^m,225\quad \text{et}\quad 0^m,280,$$

et en le faisant rouler sur des terrains plus ou moins compressibles, tels que le sol du polygone de Metz, ramolli par la pluie, le sol du grand hangar de manœuvre de l'école d'application, nouvellement chargé d'une couche de $0^m,12$ à $0^m,14$ de sable mêlé de gravier, le chemin empierré, en bon état, mais un peu humide, qui conduit aux batteries du polygone, et enfin des routes très sèches et solides, ainsi que des chaussées pavées.

Depuis, en 1839, il a été exécuté sur différentes natures de routes des expériences avec des voitures à roues des mêmes diamètres et de largeur de bandes de $0^m,175$, $0^m,115$ et $0^m,060$.

29. *Moyens employés pour reconnaître l'influence de la vitesse sur la quantité de travail consommée dans le transport.* — La variation de la quantité d'action consommée dans le tirage avec la vitesse de transport a été étudiée avec les dispositifs décrits aux n°s 24 et 25, sur les différents terrains, sur les routes et sur le pavé, en faisant marcher les chevaux aux allures successives du petit pas, du pas allongé, du petit trot, du grand trot, et quelquefois du galop.

L'emploi comparatif des voitures d'artillerie et des chariots non suspendus et celui des voitures suspendues a permis de reconnaître quelle était l'influence de la suspension plus ou moins parfaite sur l'intensité du tirage.

30. *Dispositif pour reconnaître l'influence de l'inclinaison du tirage.*—Un dispositif fort simple a été adapté à l'avant-train d'un affût de siége pour permettre de faire varier l'inclinaison du tirage dans des limites aussi étendues qu'il pouvait être nécessaire pour constater l'influence de cette cause.

31. *Moyens adoptés pour reconnaître l'influence de la suspension et de l'allure*

sur la dégradation des routes. — Enfin, quant à l'influence combinée de la suspension et de la vitesse sur la dégradation des routes, il a été fait en 1838 deux séries spéciales d'expériences, d'abord avec une petite diligence et un chariot d'artillerie, et ensuite avec une diligence des messageries générales, pesamment chargée, et en la faisant passer un même nombre de fois au pas, comme voiture non suspendue ou chariot rendue telle par le calage complet des ressorts, sur une longueur de 300 mètres; puis au trot, comme voiture suspendue, en rendant la liberté aux ressorts, sur une autre longueur de 300 mètres. Ces deux longueurs égales avaient été choisies, de concert avec les ingénieurs du département de la Moselle, sur le même côté de la route, et signalées comme étant identiquement au même état à l'origine des expériences.

Des expériences analogues ont été exécutées en 1839 à Courbevoie, avec deux fourgons des messageries générales exactement semblables : l'un, suspendu, allant au trot, à la vitesse de 3,5 lieues à l'heure; l'autre, non suspendu, allant au pas. Les résultats de ces expériences seront rapportés avec ceux qui sont relatifs à l'action destructive que les voitures exercent sur les routes.

32. *Formules employées au calcul des résultats des expériences.*—Avant d'entrer dans l'exposition détaillée des résultats des expériences, il est nécessaire d'établir les formules employées à les calculer dans les différents cas.

33. *Formule relative au dispositif avec arbre en fonte formant un rouleau ou une charrette tiré par des chevaux.* Dans ce dispositif, si l'on nomme

R la résistance opposée par le sol au roulement, et rapportée à la circonférence du rouleau,

F l'effort exercé par les chevaux,

α l'angle que forme la direction de cet effort avec le sol,

i l'angle d'inclinaison du sol avec l'horizon, ce qui donne $\sin i = \frac{h}{L}$ égal à la pente par mètre courant (h étant la pente relative à la longueur parcourue, L),

P le poids de l'arbre et de sa charge,

$p = 80$ kilogrammes, ou 115 selon le cas, le poids du cadre de traction et du brancard,

$f = 0^{m},065$ le rapport du frottement à la pression pour les axes et leurs coussinets (1),

(1) Dans la première édition de cet ouvrage, j'avais adopté la valeur $f = 0,050$, attendu que c'est la valeur que j'ai obtenue comme moyenne générale dans mes expériences sur le frottement des tourillons, pour le cas des surfaces constamment graissées et alimentées d'enduit, qui est celui des boîtes de roues; mais, ce chiffre ayant paru trop faible à quelques ingénieurs, je lui substitue dans cette édition la valeur $f = 0,065$, qui est le résultat même des expériences faites sur le frottement des tourillons en fer tournant sur des coussinets en bronze graissés de saindoux. (Expériences sur le frottement des axes de rotation faites à Metz en 1834, p. 86.)

r le rayon des rouleaux égal à $0^m,3935$ pour les disques en fonte,

ρ le rayon des tourillons de l'arbre, égal à $0^m,0125$ quand il roulait sur les disques en fonte,

on aura, dans le cas où le mouvement sera parvenu à l'uniformité, ou au moins à la périodicité,

$$\mathrm{FL}\cos\alpha = \pm(\mathrm{P}+p)\,h + \mathrm{RL} + \frac{f\rho}{r}\mathrm{L}\sqrt{\mathrm{F}^2+p^2-2\mathrm{F}p\sin(\alpha+i)},$$

d'où l'on tire

$$\mathrm{R} = \mathrm{F}\cos\alpha \mp (\mathrm{P}+p)\frac{h}{\mathrm{L}} - \frac{f\rho}{r}\sqrt{\mathrm{F}^2+p^2-2\mathrm{F}p\sin(\alpha+i)}.$$

Il est facile de voir que, dans les limites d'exactitude que l'on peut espérer, et qui suffisent dans de pareilles expériences, et par suite aussi des proportions données à l'appareil, on peut toujours, sans erreur notable, négliger le dernier terme du second membre relatif au frottement des tourillons. En effet, ce terme acquiert évidemment sa valeur maximum quand $i=o$. De plus, on a, d'après la longueur des traits, la hauteur de la boucle d'attelage du collier et le diamètre des disques,

$$\mathrm{Tang}\,\alpha = \frac{0^m,811}{3^m,100} = 0,262, \quad \text{d'où} \quad \sin\alpha = 0,253 \quad \text{et} \quad \cos\alpha = 0,967,$$

$$\frac{\rho}{r} = 0,0021;$$

et, si l'on suppose successivement des valeurs fort différentes à l'effort de traction F, on trouve pour

$$\mathrm{F} = 50\,\text{kil.}, \quad \frac{f\rho}{r}\sqrt{\mathrm{F}^2+p^2-2\mathrm{F}p\sin\alpha} = 0^k,070 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{71,5}\ \text{de F},$$

$$\mathrm{F} = 200\,\text{kil.}, \quad \frac{f\rho}{r}\sqrt{\mathrm{F}^2+p^2-2\mathrm{F}p\sin\alpha} = 0^k,378 \quad \text{ou} \quad \frac{1}{53,0}\ \text{de F}.$$

L'expression de la résistance R, opposée par le sol au roulement, peut donc être réduite, sans crainte d'erreur notable, à la formule très simple :

$$\mathrm{R} = 0,967\,\mathrm{F} \mp (\mathrm{P}+p)\frac{h}{\mathrm{L}},$$

dans laquelle il suffira de substituer, pour chaque expérience, les valeurs correspondantes et données de P, p, h et L, et celle de F, qu'on aura déduite du relèvement de la courbe tracée par le style du dynamomètre.

34. *Formule relative aux voitures à quatre roues.* — Pour les voitures à quatre roues, en appelant

R′ et R″ les résistances opposées par le sol au roulement, et respecti-

vement rapportées à la circonférence extérieure des roues de devant et de derrière,

F l'effort exercé par les chevaux,

F' l'effort parallèle au sol, transmis par le train de devant au train de derrière,

i l'angle d'inclinaison du sol avec l'horizon,

α l'angle que forme la direction de cet effort avec le sol,

L la longueur du chemin parcouru,

h la pente totale sur cette longueur,

P le poids total de la voiture sans roues,

p' et p'' les poids respectifs des deux roues de devant et de derrière,

P' et P'' les composantes respectives du poids P sur l'essieu de devant et sur celui de derrière,

r' et r'' les rayons des roues de devant et de derrière,

$P_1 = P + p' + p''$, $P_1' = P' + p'$, $P_1'' = P'' + p''$,

ρ' et ρ'' les rayons moyens des boîtes de roues de devant et de derrière obtenus en mesurant les diamètres de ces boîtes aux deux bouts,

$f = 0,065$ le rapport du frottement à la pression pour les essieux et leurs boîtes bien graissées,

la pression pour le sol sera pour les deux roues

$$\text{de devant } (P' + p')\cos i = P'_1 \cos i,$$
$$\text{de derrière } (P'' + p'')\cos i = P''_1 \cos i,$$

et il est facile de voir que, quand le mouvement sera parvenu à l'uniformité ou à la périodicité, on aura autour de l'essieu de devant la relation

$$F\cos\alpha L = R'L + F'L \pm (P' + p')h + \frac{f\rho'}{r'} L \sqrt{(P' - F\sin(\alpha + i) + F'\sin i)^2 + (F\cos(\alpha + i) - F'\cos i)^2},$$

qui convient aussi aux charrettes et à l'appareil avec arbre en fonte, quand il était monté sur des roues ordinaires,

et autour de l'axe de l'essieu de derrière

$$F'L = R''L \pm (P'' + p'')h + \frac{f\rho''}{r''} L \sqrt{(F'\cos i)^2 + (P'' - F'\sin i)^2}.$$

35. *Simplification des formules pour le calcul des expériences.*—En se servant ici du théorème de M. Poncelet (1) relatif aux valeurs approchées des radicaux de la forme $\sqrt{a^2 + b^2}$, il serait facile de ramener ces équations à une forme rationnelle, puis d'éliminer entre elles la quantité F', de manière à n'avoir plus qu'une équation du premier degré; mais, pour l'application immédiate au

(1) Cours de mécanique appliquée aux machines, professé à l'Ecole de Metz. Édition lithographiée de 1836, note 1re, section III, pag. 97.

calcul de nos expériences pour les voitures à quatre roues, qui ont toujours marché sur des routes à très peu près horizontales, et où l'inclinaison des traits était fort petite, il est facile de voir d'abord que, sous les radicaux des termes relatifs au frottement des essieux, il sera toujours permis, sans crainte d'aucune erreur comparable à celles qui peuvent provenir des incertitudes mêmes de l'observation, non seulement de supposer $\sin(\alpha+i)=0$, $\cos(\alpha+i)=1$, $\sin i=o$, et $\cos i=1$, mais même de négliger les efforts F et F' vis-à-vis des pressions P' et P''.

En effet, sur les routes où nous avons opéré, la valeur de $\sin(\alpha+i)$ n'a jamais dépassé et a très rarement atteint 0,007 à 0,008, excepté sur le pavé de la rue Stanislas, et le terme qui en dépend peut par conséquent être négligé, et $\cos(\alpha+i)$ supposé égal à l'unité. De plus, l'effort total F ne s'est jamais élevé au delà de $\frac{1}{12}$ de la charge, ou de $\frac{1}{6}$ de celle de P' de l'avant-train, en la supposant répartie également sur les deux trains, ce qui n'est presque jamais arrivé.

Dans ces hypothèses, permises par la nature de la question, le radical de la première équation se réduit à

$$\sqrt{P'^2+(F-F')^2},$$

et celui de la deuxième à

$$\sqrt{(F'^2+P''^2)}.$$

Dans la première, F' étant toujours une fraction plus ou moins grande de l'effort total F, la valeur de ce radical sera toujours plus petite que

$$\sqrt{P'^2+F^2},$$

et, d'après le théorème cité de M. Poncelet, la valeur approchée du radical réduit à

$$\sqrt{P'^2+F^2}$$

serait, dans le cas très défavorable où $F=\frac{1}{6}P'$ égale, à $\frac{1}{417}$ près, à

$$0,99757\,P'+0,09878\,F=1,01403\,P'.$$

La portion de l'effort F, exercé par les chevaux, employée à vaincre le frottement de l'essieu, serait donc égale à

$$\frac{f\rho'}{r'}\times 1,014\,P'=0,00367\,P',$$

attendu qu'on avait au plus $f=0,065$, $\rho'=0^m,0032$, $r'=0^m,575$. Mais en négligeant F sous le radical, la pression sur l'essieu se serait trouvée réduite à P', et la portion de l'effort employée à vaincre le frottement de l'essieu de devant à

$$\frac{f\rho'}{r'}.\,P'=0,00361\,P'.$$

La différence ou l'erreur dans la valeur du frottement provenant de cette suppression serait donc de 0,00006 P′ ou de 0,00036 F, dans le cas supposé de $F = \frac{1}{6} P'$, ou égale à $\frac{1}{2778}$ de la valeur de F.

Or les différences de résistance, de vitesse, d'état de la route, ne nous permettent pas d'obtenir la valeur de F avec un degré d'approximation supérieur à $\frac{1}{50}$ ou $\frac{1}{40}$, et l'on voit que ce serait compliquer bien inutilement les calculs des expériences que de tenir à l'emploi des formules plus rigoureuses que celle que l'on déduit de la suppression des termes F et F′ sous les radicanx.

D'ailleurs, pour la deuxième équation, l'erreur serait encore beaucoup moindre, attendu que F′ n'est pas même la moitié de F, tandis que P″ est presque toujours supérieur à P′.

Enfin, ce que nous venons de dire pour un cas à peu près unique dans nos expériences se rapporte à celles qui ont été faites dans le sol du polygone de Metz, détrempé par la fonte des neiges de l'hiver, encore couvert d'eau en certains endroits, et où les roues enfonçaient de $0^m,08$ à $0^m,10$, sous une faible charge de moins de 700 kilogrammes par roue, et la conclusion précédente serait encore bien plus près de l'exactitude pour toutes les expériences faites sur les routes plus solides.

Nous sommes donc complétement autorisé par cette discussion à substituer aux deux équations précédentes les relations plus simples :

$$F \cos \alpha L = R'L + F'L \pm (P' + p')h + \frac{f\rho'}{r'} P'L \text{ pour l'essieu de devant,}$$

et

$$F'L = R''L \pm (P'' + p'')h + \frac{f\rho''}{r''} P''L \text{ pour celui de derrière.}$$

En les ajoutant membre à membre, elles se réduisent à l'expression

$$F \cos \alpha L = (R' + R'') L \pm (P + p' + p'')h + \frac{f\rho'}{r'} P'L + \frac{f\rho''}{r''} P''L,$$

d'où l'on tire

$$(R' + R'') = F \cos \alpha \mp (P + p' + p'') \frac{h}{L} - \frac{f\rho'}{r'} P' - \frac{f\rho''}{r''} P''.$$

36. *Autres simplifications provenant des données des expériences.* Dans la plupart de nos expériences cette formule se simplifie encore, attendu que nous avons ordinairement $\cos \alpha = 1$, ou à peu près.

Lorsque la charge est également répartie entre les deux essieux, on a $P' = P''$, et si de plus on a $\rho' = \rho''$, et qu'on puisse prendre $\cos \alpha = 1$, ce qui est le cas des expériences faites avec le chariot à munitions, la formule se réduit à

$$R' + R'' = F \mp (P + p' + p'') \frac{h}{L} - \frac{f\rho' P}{2} \left(\frac{1}{r'} + \frac{1}{r''} \right).$$

Pour l'affût de siége de 16 avec sa pièce, les quatre roues et les boîtes ayant toujours eu le même diamètre, on a $\rho'=\rho''$, $r'=r''$, et la formule devient

$$R'+R''=F\mp(P+p'+p'')\frac{h}{L}-\frac{f\rho'P}{r'}.$$

Pour l'appareil avec arbre en fonte monté sur roues de 12 de campagne, les mêmes considérations, les dimensions du rayon moyen des boîtes, $\rho=0^m,0315$, et du rayon de la roue, $r=0^m,741$, et l'inclinaison du tirage, $\cos\alpha=0^m,992$, réduisent la formule à

$$R=0{,}992F\mp(P+p)\frac{h}{L}-0{,}00276P.$$

Une autre simplification, qui s'applique au plus grand nombre des expériences, résulte de ce que l'on a fort souvent fait aller et revenir les voitures deux fois sur le même piste, de sorte que le terme $(P+p'+p'')\frac{h}{L}$ se compensait dans les deux expériences consécutives, et qu'en prenant la moyenne arithmétique des deux valeurs correspondantes de la résistance, on évitait la nécessité de niveler le terrain. C'est pourquoi on verra dans les tableaux un grand nombre d'expériences où la pente du terrain n'est pas indiquée, et pour lesquelles, tout en indiquant les résultats immédiats de l'expérience obtenus à l'aller et au retour, on n'a calculé la résistance que d'après leur moyenne arithmétique.

37. *Observations relatives aux routes en pente.* — Nous ferons remarquer toutefois que ce dernier mode de calcul ne peut s'appliquer qu'aux pentes très faibles, et dans lesquelles, à la descente, les chevaux ont à exercer un effort très peu différent de celui qu'ils développent à la montée. Lorsqu'ils sont obligés de retenir, les inégalités du mouvement occasionnent des chocs et des pertes de force vive, qui ne permettent plus d'établir la compensation des effets de la pente, et qui sont d'autant plus grands qu'elle est plus rapide, et les chevaux moins bien dressés et conduits.

38. *Expression de la résistance au roulement à comparer aux résultats de l'expérience.* — Dans les expressions précédentes, nous avons désigné par R la résistance au roulement rapportée à la circonférence extérieure de la roue. La valeur absolue de cette quantité nous sera fournie dans chaque cas, et, pour reconnaître les lois auxquelles elle est soumise, on peut employer les constructions graphiques, ou faire sur ces lois quelque hypothèse dont on compare ensuite les conséquences avec les résultats de l'expérience même.

Nous nous servirons indifféremment de ces deux méthodes, et, pour reconnaître l'influence du rayon des roues sur la résistance, nous comparerons les

résultats de l'expérience, d'abord à la loi de Coulomb, en vertu de laquelle la résistance devrait venir en raison inverse du rayon des roues, et qui a été vérifiée précédemment, nos 3 et 6, pour les bois, les aires en plâtre et le cuir; puis à une autre loi, d'après laquelle cette résistance varierait en raison inverse de la racine carrée du rayon.

D'après la loi de Coulomb, la résistance devant être proportionnelle à la pression et en raison inverse du rayon, on aurait pour les voitures à deux roues

$$R = A . \frac{P+p}{r},$$

formule dans laquelle on appelle, pour le cas des terrains de niveau ou à très peu près horizontaux,

P la pression verticale exercée sur les essieux,

p le poids des roues,

r le rayon de la roue,

A un coefficient constant, pour une même largeur de bande et une même nature de terrain, et qui serait, en kilogrammes, la résistance pour une pression d'un kilogramme et un rayon d'un mètre.

Si la loi trouvée par Coulomb, et vérifiée par les expériences rapportées plus haut, est générale et applicable aux corps plus mous et plus durs, on doit avoir pour un même sol, en faisant varier les diamètres des roues, une valeur constante pour la quantité

$$A = \frac{Rr}{P+p} = \frac{Rr}{P_1},$$

le poids P et la largeur de la jante restant les mêmes.

Si, au contraire, la loi de la raison inverse de la racine carrée des rayons est exacte, on doit avoir

$$R = A' \frac{P+p}{\sqrt{r}}, \qquad \text{d'où} \qquad A' = \frac{R\sqrt{r}}{P+p} = \frac{R\sqrt{r}}{P_1},$$

A' étant encore ici un nombre constant.

S'il s'agit d'une voiture à quatre roues, l'expression devient, en général, dans l'hypothèse de la loi de Coulomb,

$$A = \frac{R}{\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''}}; \quad \text{et pour l'autre loi} \quad A' = \frac{R}{\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''}};$$

si la charge est également répartie sur les deux trains, on a respectivement pour l'une ou l'autre loi

$$A=\frac{R}{\frac{P_1}{2}\left(\frac{1}{r'}+\frac{1}{r''}\right)} \quad \text{ou} \quad A'=\frac{R}{\frac{P_1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{r'}}+\frac{1}{\sqrt{r''}}\right)}.$$

Enfin, si les quatre roues sont égales, on a respectivement

$$A=\frac{R.r}{P_1} \quad \text{ou} \quad A'=\frac{R\sqrt{r}}{P_1}.$$

Ainsi, dans les diverses expériences, qui auront pour objet de reconnaître l'influence de la grandeur du diamètre sur la résistance, nous devrons calculer par l'une ou l'autre de ces formules les valeurs des coefficiens A et A', et, selon que les valeurs de l'un ou de l'autre de ces nombres seront plus ou moins constantes pour tous les diamètres expérimentés, nous en conclurons que la loi correspondante s'approche plus ou moins de la vérité.

Quant à l'influence de la largeur de la bande de roue et de la vitesse, il faudra voir quelle est la marche des variations du coefficient A avec celle de chacun de ces éléments, en les étudiant séparément.

Après ces préliminaires, il ne nous reste plus qu'à exposer successivement les résultats des expériences, et à en déduire les conséquences.

39. *Influence de la pression sur la résistance au roulement sur les routes ordinaires.* — Il convient d'abord de s'assurer si, sur les routes en empierrement solide et sur le pavé, la résistance est proportionnelle à la pression. C'est ce que l'on a fait en 1838, tout en exécutant les autres expériences, ainsi qu'on le verra plus loin au fur et à mesure de la discussion de leurs résultats, et ce qui a servi à vérifier cette loi pour certains cas. Mais afin de reconnaître si elle s'étendait à des limites de chargements fort écartées, j'ai exécuté en 1839 et 1841 les séries d'expériences consignées au tableau suivant.

Dans chacune de ces séries, le diamètre et la largeur de bande des roues restaient les mêmes, ainsi que la portion de route parcourue; le poids seul de la voiture variait. La vitesse était à très peu près constante. Il suit de là que, quelle que soit la loi de la résistance par rapport aux diamètres, le nombre A calculé par la formule $A=\frac{R}{\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}}$ doit être constant si la résistance est proportionnelle à la pression, attendu que l'on a toujours eu l'attention de répartir la charge de manière que les rapports $\frac{P_1'}{r'}$ et $\frac{P_1''}{r''}$ fussent à très peu près égaux.

Le tableau suivant donne les valeurs de A et de $\frac{R}{P}$ pour chaque expérience.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION de la voiture employée.	NOMBRE de roues.	DIAMÈTRES des roues		LARGEUR de la bande de roue.	ÉTAT, NATURE et désignation de la route.	DISTANCE parcourue.	PRESSION.		
			de devant. $2r'$	de derrière. $2r''$				sur le sol P_1	sur les essieux de devant P'	sur les essieux de derrière P''
			m.	m.	m.		m.	k.	k.	k.
1 2 3 4 5 6	Chariot porte-corps d'artillerie.	4	1,438	1,438	0,175	Route de Courbevoie à Colombes, en empierrement, sèche, en bon état, converte d'un peu de poussière. Il avait été fait un mois auparavant sur cette route quelques emplois de matériaux qui n'étaient pas complétement agrégés.	1042	6992	3024	3024
7 8 9 10 11 12		4	1,438	1,4[illegible]8	0,175		1042	6140	2598	2598
13 14 15 16 17 18 19 20		4	1,438	1,438	0,175		1042	6140	2598	25[illegible]8
21 22 23 24		4	1,438	1,438	0,175		1042	4580	1818	1[illegible]18

VITESSE de transport.	SENS du mouvem.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT moyen exercé par le moteur parallèlement au plan de la route F cos α.	RAPPORT du tirage total à la charge $\frac{F}{P_1}$	EFFORT moyen employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	
m.			k.		k.	k.		
1,15	aller	344,6 } 373,9	177,8	$\frac{1}{39,3}$	20,8	156,2	0,0160	Dynamomètre à compteur. FE = 495,5 N.
1,06	retour	403,3						
1,11	aller	340,0 } 375,0	178,3	$\frac{1}{39,2}$	20,8	157,5	0,0162	$\frac{P_1}{r} = 9725$, $p' = p'' = 472$k.
1,11	retour	410,0						
1,13	aller	357,0 } 389,5	185,2	$\frac{1}{37,2}$	20,8	164,4	0,0169	$\frac{f\rho}{r} = \frac{0,065 \times 0,038}{0,719} = 0,00343.$
1,02	retour	422,0						
						Moyenne	0,0164	
0,88	aller	»	152,0 } 151,5	$\frac{1}{40,5}$	17,9	133,6	0,0156	
1,15	retour	»	149,0					
1,23	aller	»	162,0 } 154,9	$\frac{1}{39,6}$	17,9	137,0	0,0160	Dynamomètre à style de 300 k. $\frac{P_1}{r} = 8540.$
0,90	retour	»	147,9					
0,88	aller	»	166,5 } 163,2	$\frac{1}{37,6}$	17,9	145,3	0,0170	
1,23	retour	»	160,0					
						Moyenne	0,0162	
1,23	aller	307,3 } 332,9	158,3	$\frac{1}{38,8}$	17,9	140,4	0,0165	Dynamomètre à compteur. FE = 495,5 N.
1,23	retour	358,5						
1,10	aller	282,8 } 321,7	153,0	$\frac{1}{40,2}$	17,9	135,1	0,0158	$\frac{P_1}{r} = 8539.$
1,16	retour	360,5						
1,19	aller	286,0 } 329.3	156,6	$\frac{1}{39,2}$	17,9	138,7	0,0162	
1,16	retour	372,6						
1,15	aller	304,0 } 337,3	160,4	$\frac{1}{38,3}$	17,9	142,5	0,0167	
1,17	retour	374,7						
						Moyenne	0,0163	
1,28	aller	212,0 } 240,6	114,4	$\frac{1}{40}$	12,5	101,9	0,0160	Dynamomètre à compteur. FE = 495,5 N.
1,25	retour	269,2						
1,28	aller	210,0 } 237,9	113,1	$\frac{1}{40,4}$	12,5	100,6	0,0158	$\frac{P_1}{r} = 6370.$
1,17	retour	265,8						
						Moyenne	0,0159	

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION de la voiture employée.	NOMBRE de roues.	DIAMÈTRES des roues de devant $2r'$.	DIAMÈTRES des roues de derrière $2r''$.	LARGEUR de la bande de roue.	ÉTAT, NATURE et désignation de la route.	DISTANCE parcourue.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P''	PRESSION sur les essieux de derrière P'
			m.	m.	m.			k.	k.	k.
25										
26										
27										
28		4	1,020	1,676	0,12		250	7126	2621	3764
29										
30										
31										
32										
33										
34		4	1,020	1,676	0,12		250	5458	1985	2732
35										
36	Chariot de roulage non suspendu.					Route de Courbevoie à Bezons, en empierrement de gravois, très sèche, avec un peu de poussière.				
37										
38										
39										
40		4	1,020	1,676	0,12		250	4450	1601	2108
41										
42										
43										
44										
45										
46		4	1,020	1,676	0,12		250	3430	1217	1472
47										
48										

VITESSE de transport.	SENS du mouvem.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT moyen exercé par le moteur parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage total à la charge	EFFORT moyen employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	DONNÉES et formule employée.
m.				k.		k.	k.		
1,28	Aller.	133,0	193,5	136,8	$\frac{1}{52,1}$	23,7	113,1	0,0106	Dynamomètre à compteur, FE = 176,8N.
1,22	Retour.	254,0							
1,30	Aller.	138,5	198,2	140,2	$\frac{1}{50,8}$	23,7	116,5	0,0109	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=10715,7$ $p'=294$ kil. $p''=447$ kil.
1,20	Retour.	260,0							
1,29	Aller.	141,0	197,5	139,7	$\frac{1}{51,0}$	23,7	116,0	0,0108	$\rho'=\rho''=0^m,038$.
1,19	Retour.	254,0							
							Moyenne	0,0108	
1,16	Aller.	112,0	158,5	112,1	$\frac{1}{48,7}$	17,6	94,5	0,0115	
1,14	Retour.	205,0							
1,13	Aller.	112,0	157,7	111,5	$\frac{1}{48,9}$	17,6	93,9	0,0114	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=8242,6$.
1,12	Retour.	203,5							
1,13	Aller.	110,5	156,7	110,8	$\frac{1}{49,3}$	17,6	93,2	0,0113	
1,22	Retour.	203,0							
							Moyenne	0,0114	
1,66	Aller.	100,0	133,2	94,2	$\frac{1}{47,2}$	13,9	80,3	0,0119	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=6748,2$.
1,62	Retour.	166,5							
1,59	Aller.	98,0	131,5	93,0	$\frac{1}{47,8}$	13,9	79,1	0,0117	
1,50	Retour.	165,0							
1,49	Aller.	99,0	130,7	92,4	$\frac{1}{48,2}$	13,9	78,5	0,0116	
1,50	Retour.	162,5							
							Moyenne	0,0117	
1,64	Aller.	76,8	99,3	70,2	$\frac{1}{48,9}$	10,2	60,0	0,0115	$\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=5239,6$.
1,50	Retour.	121,8							
1,52	Aller.	73,0	96,5	68,2	$\frac{1}{50,3}$	10,2	53,0	0,0111	
1,48	Retour.	120,0							
1,50	Aller.	73,0	95,7	66,7	$\frac{1}{51,4}$	10,2	56,5	0,0108	
1,57	Retour.	118,5							
							Moyenne	0,0111	

NUMEROS des expériences.	DÉSIGNATION de la voiture employée.	NOMBRE de roues.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRES des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR de la bande de roue.	ÉTAT, NATURE et désignation de la route.	DISTANCE parcourue.	PRESSION. sur le sol P_1	PRESSION. sur les essieux de devant P'	PRESSION. sur les essieux de derrière P''
			m.	m.	m.		m.	k.	k.	k.
49										
50										
51		4	0,859	1,416	0,106		300	1600	653	514
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58	Chariot de roulage accéléré suspendu.	4	0,859	1,416	0,106	Rue de Colombes dans Courbevoie, pavée, en état ordinaire d'entretien, avec boue humide.	300	3[illegible]92	1269	1600
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67		4	0,859	1,416	0,106		300	4996	1917	2656
68										
69										
70										

VITESSE de transport.	SENS du mouvem.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT moyen exercé par le moteur parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage total à la charge	EFFORT moyen employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	DONNÉES et formules employées.
1,28	Aller.	73,0	65,4	39,8	$\frac{1}{40,2}$	5,20	34,6	0,0115	Dynanomètre à compteur.
1,29	Retour.	57,8							FE = 188,50 N.
1,25	Aller.	71,0	61,3	38,5	$\frac{1}{41,6}$	5,20	33,3	0,0111	$\rho' = \rho'' = 0^m,0337$, $p' = 167$ k.
1,28	Retour.	51,7							$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00340$, $r'' =$
1,25	Aller.	70,0	62,5	39,3	$\frac{1}{40,8}$	5,20	34,1	0,0113	$\frac{f\rho'}{r''} = 0,00328$.
1,31	Retour.	55,0							
							Moyenne	0,0113	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 3014$.
1,32	Aller.	162,5	144,5	90,8	$\frac{1}{36,3}$	12,10	78,7	0,0131	
1,34	Retour.	126,5							
1,39	Aller.	165,0	144,5	90,8	$\frac{1}{36,3}$	12,10	78,7	0,0131	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 6004$.
1,48	Retour.	124,0							
1,27	Aller.	161,0	140,0	88,0	$\frac{1}{37,4}$	12,10	75,9	0,0126	
1,48	Retour.	119,0							
1,39	Aller.	159,5	138,7	87,2	$\frac{1}{37,7}$	12,10	75,1	0,0125	
1,52	Retour.	116,0							
							Moyenne	0,0128	
1,34	Aller.	247,5	218,4	137,2	$\frac{1}{36,4}$	19,0	118,2	0,0131	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 9022$.
1,23	Retour.	189,3							
1,33	Aller.	249,5	218,7	137,5	$\frac{1}{36,4}$	19,0	118,5	0,0131	
1,32	Retour.	184,0							
1,27	Aller.	247,0	214,5	134,8	$\frac{1}{37,1}$	19,0	115,8	0,0128	
1,27	Retour.	182,0							
1,25	Aller.	244,0	214,0	134,4	$\frac{1}{37,2}$	19,0	115,4	0,0128	
1,19	Retour.	184,0							
							Moyenne	0,0130	

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION de la voiture employée.	NOMBRE de roues.	DIAMÈTRES des roues de devant 2r'.	de derrière 2r''.	LARGEUR de la bande de roue.	ÉTAT, NATURE et désignation de la route.	DISTANCE parcourue.	PRESSION sur le sol P_1	sur les essieux de devant P''	de derrière P'
			m.	m.	m.		m.	k.	k.	
71										
72										
73										
74		6	1,046	1,046	0,097		500	3000	804 par essieu.	
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82	Voiture à six roues égales, à trains articulés, suspendue.	6	1,046	1,046	0,097	Route de Courbevoie à Colombes, ornières profondes avec détritus humide, sans boue.	300	4692	1368 par essieu.	
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90		6	1,046	1,046	0,097		500	6000	1804 par essieu.	
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98	Deux voitures à six roues égales, à trains articulés, suspendues à la suite l'une de l'autre, pesant chacune 3000 kil.	12	1,046	1,046	0,097	Même route.	500	6000	804 par essieu.	
99										
100										
101										
102										

VITESSE de transport.	SENS du mouvem.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT moyen exercé par le moteur parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage total à la charge	EFFORT moyen employé à vaincre le frottement des essieux.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	DONNÉES et formules employées.
m.				k.		k.	k.		
1,11	Aller.	194,0	189,0	142,5	$\frac{1}{21,0}$	7,8	134,7	0,0235	Dynamomètre à compteur. FE = 377,1 N.
1,28	Retour.	184,0							
1,19	Aller.	182,5	183,2	138,2	$\frac{1}{21,7}$	7,8	130,4	0,0227	$\rho = 0^m,0262 \frac{f\rho}{r} = 0,00326$.
1,27	Retour.	188,0							$p' = p'' = p''' = 196$ k.
1,23	Aller.	184,5	182,5	137,6	$\frac{1}{21,8}$	7,8	129,8	0,0226	$\frac{P_1}{r} = 5736$.
1,29	Retour.	180,5							
1,04	Aller.	177,5	182,0	137,3	$\frac{1}{21,8}$	7,8	129,5	0,0226	
1,13	Retour.	186,5							
							Moyenne	0,0229	
1,17	Aller.	295,0	305,7	230,5	$\frac{1}{20,4}$	13,4	217,1	0,0242	Même dynamomètre.
1,21	Retour.	316,5							
»	Aller.	303,0	307,2	231,7	$\frac{1}{20,3}$	13,4	218,3	0,0243	$\frac{P_1}{r} = 71$.
1,37	Retour.	314,5							
1,32	Aller.	293,0	288,0	217,2	$\frac{1}{21,6}$	13,4	203,8	0,0227	
1,18	Retour.	283,0							
1,08	Aller.	284,5	287,2	216,6	$\frac{1}{21,7}$	13,4	203,2	0,0226	
1,07	Retour.	290,0							
							Moyenne	0,0235	
0,85	Aller.	362,0	380,2	286,7	$\frac{1}{20,9}$	17,6	269,1	0,0234	$\frac{P_1}{r} = 11472$.
1,12	Retour.	398,5							
0,85	Aller.	370,2	380,2	286,6	$\frac{1}{20,9}$	17,6	269,0	0,0234	
»	Retour.	389,7							
1,10	Aller.	377,0	380,0	286,6	$\frac{1}{20,9}$	17,6	269,0	0,0234	
0,83	Retour.	283,0							
0,83	Aller.	371,0	375,5	283,2	$\frac{1}{21,2}$	17,6	265,6	0,0252	
0,82	Retour.	380,0							
							Moyenne	0,0233	
0,89	Aller.	381,5	389,5	293,8	$\frac{1}{20,4}$	15,7	278,1	0,0242	$\frac{P_1}{r} = 11472$.
0,90	Retour.	397,5							
0,87	Aller.	383,0	377,5	284,7	$\frac{1}{21,1}$	15,7	269,0	0,0234	
0,85	Retour.	372,0							
0,87	Aller.	374,8	373,4	281,6	$\frac{1}{21,3}$	15,7	265,9	0,0232	
0,87	Retour.	372,0							
0,84	Aller.	368,0	372,0	280,6	$\frac{1}{21,4}$	15,7	264,9	0,0231	
0,89	Retour.	376,0							
							Moyenne	0,0235	

40. *Conséquences des résultats du tableau précédent.*— Les résultats consignés dans le tableau précédent montrent que, sur les routes en empierrement solide, en bon état, et sur le pavé, on peut regarder la résistance au roulement comme proportionnelle à la pression avec une exactitude bien suffisante pour la pratique et les applications ordinaires. On remarquera néanmoins qu'aux faibles charges, la résistance sur le pavé paraît être un peu moindre qu'aux grandes, ce qui provient sans doute de ce que les pavés se déplacent, glissent les uns par rapport aux autres quand la pression est considérable; d'où résulte un surcroît de résistance pour la voiture. Cet effet, devant être d'autant plus nuisible à la puissance que le pavé est plus mobile, on voit combien il importe que les éléments dont il se compose soient très rapprochés les uns des autres et très serrés par le damage.

41. *Influence de la grandeur du diamètre des roues sur la résistance au roulement sur les routes ordinaires.* — Ayant reconnu, pour des limites de chargement fort étendues, que la résistance au roulement est proportionnelle à la pression, nous pourrons, dans la discussion des expériences ultérieures, admettre cette conséquence comme une loi expérimentale suffisamment exacte pour tous les sols analogues aux routes ordinaires, et dès lors il nous sera permis, dans l'étude de l'influence des autres éléments, de comparer entre eux les résultats d'expériences faites à des pressions différentes.

Toutefois, j'ai cherché autant que possible à opérer dans beaucoup de cas à des pressions égales, et c'est notamment ce que j'ai fait dans une grande partie des expériences relatives à l'influence des diamètres.

Les tableaux suivants contiennent les résultats de toutes les expériences exécutées tant en 1838 qu'en 1839 relativement à cette question importante, et la comparaison de ces résultats avec la loi de Coulomb et avec celle de la raison inverse de la racine carrée des diamètres.

On remarquera dans ces tableaux que le signe $+$ placé devant la valeur du rapport $\frac{h}{L}$, donnant la pente par mètre courant, ou devant la valeur de l'effort employé à vaincre la gravité, indique que la pente était montante, et que l'effort correspondant, ou la composante de la gravité dans le sens du plan de la route, doit être retranché de l'effort exercé par le moteur, ainsi que celui qui est nécessaire pour vaincre le frottement des boîtes de roues sur les essieux pour obtenir la résistance au roulement.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P.	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE V
			m.	m.	m.	m.	k.	k	k.			m.
1												1,[illegible]3
2												1,25
3												1,37
4	Route de Metz à Thionville en bon état d'entretien, un peu humide, cailloux à fleur du sol.	Affût de siége de 16 avec sa pièce.	300	1,100	1,100	0,108	3865	1580	1580	2	pas	1,40
5												1,25
6												1,22
7												1,25
8			480				3715	1537	1537			1,56
9			475				3715	1537	1537			1,52
10	Même route un peu moins humide.	Idem.	90	1,564	1,564	0,100	3650	1505	1505	2	pas	1,50
11			450				3650	1505	1505			1,50
12			200				3650	1505	1505			1,50
13			520				3990	1583	1583			1,48
14			420				3990	1583	1583			1,49
15			520				3990	1583	1583			1,14
16	Même route humide.	Idem.	75	2,050	2,050	0,100	3925	1550	1550	2	pas	1,18
17			460				3925	1550	1550			1,45
18			450				3925	1550	1550			1,41
19			430				3925	1550	1550			1,40
20			430				3925	1550	1550			1,40
21			300									1,10
22	Route de Thionville rechargée de 0m,04 à 0m,05 de gravier.	Affût de 16 avec sa pièce.	300	1,100	1,100	0,108	3865	1580	1580	2	pas	1,05
24			100									1,06
24			100									1,64

PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlement au plan de la route.	EFFORT employé à vaincre : la gravité.	EFFORT employé à vaincre : le frottement des essieux.	Résistance au roulement $R = \frac{AP}{r}$	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$	VALEUR du coefficient $A' = \frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES et formules employées.	Observations.
m.	k.	k.		k.				
−0,0008	97,8	− 2,98	14,2	86,6	0,0123	0,0166	$\rho' = \rho'' = 0^m,038$.	
+0,0025	117,0	+ 9,81	14,2	93,0	0,0152	0,0178	$\frac{P_1}{r'} = 7028$ $p' = p'' = 352$ kil.	Pour les expériences avec l'affût de siége, il n'est pas nécessaire de calculer P' et P''.
+0,0008	100,8	+ 2,98	14,2	85,6	0,0119	0,0160	$\sqrt{r'} = 0,7416$.	
+0,0021	119,8	+ 7,90	14,2	97,7	0,0159	0,0187	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}} = 5212$.	
−0,0028	103,2	−10,85	14,2	99,9	0,0142	0,0192	$f = 0,065$.	
−0,0009	98,4	− 3,44	14,2	87,6	0,0125	0,0168	$\frac{f\rho'}{r'} = \frac{0,065 \times 0,038}{0,55} = 0,00449$.	
0,0000	102,0	0,00	14,2	87,8	0,0125	0,0168		
				Moyenne	0,0130	0,0174		
−0,0006	58,8	− 2,30	9,7	51,4	0,0108	0,0122	$\frac{P_1}{r'} = 4751$. $\frac{P}{\sqrt{r'}} = 4201$.	
+0,0006	67,2	+ 2,30	9,7	55,2	0,0146	0,0152	Idem. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00316$.	
+0,0022	69,1	+ 4,53	9,5	55,1	0,0146	0,0133	$\frac{P_1}{r'} = 4667$. $\frac{P_1}{\sqrt{r'}} = 412$.	
−0,0011	55,3	− 4,01	9,5	49,8	0,0103	0,0120	$p' = p'' = 320$ kil.	
0,0000	54,8	0,00	9,5	45,3	0,0095	0,0110		
				Moyenne	0,0112	0,0125		
+0,0005	62,3	+ 2,47	7,6	52,2	0,0134	0,0132	$\frac{P_1}{r'} = 5893$. $p' = p'' = 412$ kil.	
+0,0006	64,4	+ 2,47	7,6	54,3	0,0139	0,0138	$\sqrt{r'} = 1013$. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00241$.	
+0,00072	63,6	+ 2,88	7,6	53,1	0,0136	0,0135	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}} = 3938,5$.	
−0,00020	57,5	− 0,78	7,5	50,8	0,0132	0,0131	$\frac{P_1}{r'} = 3829$ $\frac{P}{\sqrt{r'}} = 3875$.	
+0,00010	62,8	+ 3,92	7,5	51,4	0,0134	0,0132		
−0,00052	57,5	− 2,08	7,5	52,1	0,0136	0,0134	Idem.	
−0,00007	55,2	− 2,75	7,5	50,3	0,0132	0,0130	Idem.	
−0,00012	56,2	− 0,47	7,5	49,2	0,0129	0,0127	Idem.	
				Moyenne	0,0134	0,0132		
+0,0025	341,0	+ 9,66	14,2	317,1	0,0451	0,0608	$\frac{P_1}{r'} = 7028$.	Cette série d'expériences sur le gravier a été exécutée la dernière des trois qui sont rapportées dans ce tableau, et la couche de cailloux était devenue un peu moins épaisse.
−0,0025	325,0	− 9,66	14,2	321,5	0,0458	0,0617		
+0,0028	311,0	+10,82	14,2	286,0	0,0407	0,0549	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}} = 5212$.	
+0,00235	344,0	+ 9,12	14,2	320,7	0,0453	0,0615		
				Moyenne	0,0443	0,0597		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRES des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE V
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.
25 26 27	Route de Thionville rechargée de 0m,04 à 0m,05 de gravier.	Affût de 16 avec sa pièce.	320	1,564	1,564	0,100	36[illegible]0	1505	1505	4	Pas	1,47 1,64 1,56
28 29 30 31	Même route	Même affût	320	2,050	2,050	0,100	3990	1583	1583	4	Pas	1,41 1,12 1,24 1,14
32 33 34	Sol du polygone de Metz, gazon un peu humide	Camion de meunier.	1[illegible]0	0,817	1,255	0,113	3373	1279	1742	4	Pas	0,87 0,87 1,10
35 36 37	Idem.	Idem.	10[illegible]	0,817	1,255	0,113	3373	10[illegible]7	1964	4	Pas	1,11 1,16 1,16
38 39 40	Idem.	Idem.	1[illegible]0	0,817	1,255	0,113	3373	2301	7[illegible]0	4	Pas	1,02 1,06 1,02
41 42	Pavé en grès de Fontainebleau de la rue Stanislas, à Paris, en bon état.	Chariot des Messageries générales suspendu sur six ressorts.	213	0,840	1,180	0,080	3288	1[illegible]53	158[illegible]	2	Pas	1,24 1,45
43 44			213	1,180	1,500	0,080	3355	1353	1582	2	Pas	1,05 1,15

PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallélem^t au plan de la route,	EFFORT employé à vaincre		RÉSISTANCE au roulement $R=\frac{Ar}{P}$	VALEUR du coefficient		DONNÉES et formules employées.
		la gravité.	le frottement des essieux		$A=\frac{Rr}{P}$.	$A=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	
m.	k.	k.	k.				
−0,0025	232,0	− 9,29	9,5	231,8	0,0487	0,0551	
−0,00225	234,0	− 8,36	9,5	232,9	0,0491	0,0555	$\frac{P'}{r'}=4667$, $\frac{P'}{\sqrt{r'}}=$
+0,00225	237,2	+ 8,36	9,5	219,3	0,0462	0,0523	
				Moyenne.	0,0481	0,0543	
−0,0025	188,4	− 9,81	7,6	190,4	0,0489	0,0433	$\frac{P_1}{r'}=3893$.
+0,0025	213,5	+ 9,81	7,6	196,1	0,0503	0 0498	
−0,0025	202,0	− 9,81	7,5	204,3	0,0525	0,0518	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=3938,5$.
+0,0025	206,2	+ 9,81	7,5	188,9	0,0485	0,0479	
				Moyenne.	0,0500	0,0495	$\cos\alpha=0,912$, $\rho'=0^m,0265$, $\frac{f\rho'}{r'}=0,0421$.
»	165,3	»	11,0	152,3	0,0232	0,0326	$\rho''=0^m,0310$, $p'=138^k$, $p''=214^k$, $\frac{f\rho''}{r''}=0,00321$.
»	157,5	»	11,0	146,5	0,0223	0,0312	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6583$.
»	159,0	»	11,0	148,0	0,0225	0,0316	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}+\frac{P''}{\sqrt{r''}}=4586$.
				Moyenne.	0,0227	0,0318	
»	157,0	»	10,7	146,3	0,0229	0,0317	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6396$.
»	147,5	»	10,7	136,8	0,0214	0,0296	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}+\frac{P_1''}{\sqrt{r''}}=4619$.
»	146,5	»	10,7	135,8	0,0212	0,0294	
				Moyenne.	0,0218	0,0302	
	198,5	»	12,00	186,5	0,0250	0,0373	$\frac{P_1'-T\sin\sigma}{r'}+\frac{P_1''}{r'}=7459$.
»	211,0	»	12,00	199,0	0,0267	0,0398	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}+\frac{P_1''}{\sqrt{r''}}=4994$.
»	201,0	»	12,00	189,0	0,0253	0,0378	
				Moyenne.	0,0257	0,0383	$\rho'=\rho''=0^m,031$, $\cos\alpha=0,975$.
0,01856	144,0	61,02	11,9	71,1	0,0108	0,0156	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6602,6$.
0,01856	146,0	61,0	11,9	73,1	0,0111	0,0158	$\frac{P_1''-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}+\frac{P_1''}{\sqrt{r''}}=4642$.
				Moyenne.	0,0110	0,0157	$p'=148^k$, $p''=205$.
0.01856	133,0	62,28	8,9	61,8	0,0123	0,0151	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{r'}+\frac{P_1''}{r'}=5038$.
0,01856	135,0	62,28	8,9	63,8	0,0126	0,0156	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{\sqrt{r}}+\frac{P''}{\sqrt{r''}}=4104$.
				Moyenne.	0,0125	0,0154	$p'=205^k$, $p''=215^k$.

NOTA. Dans l'édition de 1838, le tirage déduit de la troisième expérience faite avec un dyna

42. *Conséquences de ces expériences.* — De l'examen des résultats consignés dans ce tableau j'avais conclu en 1838 que la résistance au roulement était, comme Coulomb l'avait trouvé pour les bois, en raison inverse du rayon des roues. Cette conséquence m'y avait paru assez bien établie pour pouvoir être appliquée sans crainte d'erreur notable au calcul du tirage des voitures sur les routes ordinaires. Toutefois, je dois dire que les expériences faites sur le pavé de grès de Paris laissaient de l'incertitude, soit à cause de la faible différence des diamètres employés, soit parce que ces expériences avaient été exécutées dans la saison pluvieuse, et que je n'avais pas attaché assez d'importance à l'influence de la pluie sur la fixité plus ou moins grande des éléments de ce pavé. Il me suffisait d'ailleurs que des doutes eussent été exprimés sur l'exactitude des conséquences à déduire de ces expériences pour que je dusse saisir la première occasion qui me serait offerte de les répéter avec tous les soins possibles, et c'est ce que j'ai fait l'année suivante.

43. *Expériences de* 1839 *sur l'influence des diamètres sur la résistance au roulement.* — Le tableau suivant contient toutes les expériences que j'ai faites en 1839 pour vérifier les résultats que j'avais obtenus en 1838. Elles ont été exécutées tantôt avec le dynamomètre à style, tantôt avec le dynamomètre à compteur. L'exactitude de ces deux modes d'observation, constatée par l'examen des résultats obtenus avec l'un et l'autre instrument, n'est aujourd'hui contestée, que je sache, par personne.

momètre à style n'était porté qu'à 92m,0. Je dois dire à ce sujet qu'à l'époque de la rédaction de ce travail, j'étais à Paris, pressé de le mettre en ordre pour pouvoir le présenter avant la discussion de la loi sur la police du roulage, et que les courbes minutes des expériences étaient encore à Metz ; de sorte que, bien que frappé de l'anomalie offerte par cette expérience, mais ne pouvant en examiner la cause, je ne crus pas devoir la retrancher, comme le font quelques observateurs en pareil cas ; je la maintins donc à son rang. Mais plus tard, ayant reçu les courbes originales, il me fut aisé de reconnaître que la ligne du zéro des efforts s'était déplacée pendant une portion de l'expérience, et s'était rapprochée de la courbe d'environ un millimètre ; et comme il était aisé de retrouver la véritable position de cette ligne, j'ai pu rectifier cette erreur en relevant la courbe au planimètre : c'est le résultat de ce dernier relèvement qui est porté au tableau. J'ai dans les mains cette courbe minute, et il est facile d'y constater la déviation indiquée ci-dessus.

N° des séries.	N° des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem^t
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
1	1	Route départementale n° 132, de Courbevoie à Colombes, entre les deux chemins de fer de Versailles et Saint-Germain, très sèche, couverte de poussière, offrant un frayé très léger.	Chariot porte-corps d'artillerie.	1042	4	2,029	2,029	0,115	4928	1980	1980	4	Pas	1,09	Aller.
	2													1,07	Retour.
	3													1,11	Aller.
	4													1,10	Retour.
	5													1,10	Aller.
														1,07	Retour.
2	1	Idem.	Idem.	1042	4	1,453	1,453	0,115	4930	2119	2119	4	Pas	1,08	Aller.
	2													1,02	Retour
	3													1,16	Aller.
	4													0,99	Retour.
	5													0,93	Aller.
	6													0,99	Retour.
3	1	Idem.	Idem.	1042	4	0,872	0,872	0,115	4924	2234	2234	4	Pas	1,23	Aller.
	2													1,07	Retour.
	3													1,07	Aller.
	4													1,10	Retour.
	5													1,07	Aller.
	6													1,13	Retour.
4	1	Même route, très humide, sans boue.	Idem.	320	4	2,029	2,029	0,115	4928	1980	1980	4	Pas	0,93	Aller.
	2													0,97	Retour.
	3													1,10	Aller.
	4													1,10	Retour.
5	1	Même route au même état.	Idem.	1042	4	0,872	0,872	0,115	4924	2234	2234	6	Pas	1,45	Aller.
	2													1,45	Retour.
	3													1,34	Aller.
	4													1,34	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$	VALEUR du coefficient $A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.				
12 / 52,6 } 1[illegible]2,3	81,4	$\frac{1}{60}$	9,6	71,8	0,0148	0,0147	$p'=p''=488$ k. $\frac{P_1}{r'}=4858$.	
10 / 51,5 } 130,7	80,5	$\frac{1}{61}$	9,6	70,9	0,0146	0,0145	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=4894$, $\sqrt{r'}=1,007$. FE=641,5 N.	
13 / 56,4 } 134,7	82,9	$\frac{1}{59}$	9,6	73,3	0,0151	0,0150	$f\frac{\rho'}{r'}=0,00243$, $\rho'=\rho''=0^m,038$. Dynamomètre à compteur de 600 kilogr.	
				Moyenne	0,0148	0,0147		
39,6 / 25,5 } 281,5	110,2	$\frac{1}{44,7}$	14,4	95,8	0,0141	0,0166	$p'=p''=346$ k. $\frac{P_1}{r'}=6786$.	
37,8 / 16,5 } 277,1	108,5	$\frac{1}{45,4}$	14,4	94,1	0,0139	0,0163	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=5786$, $\sqrt{r'}=0,852$ $f\frac{\rho'}{r'}=0,00340$.	
36,8 / 15,0 } 270,9	106,1	$\frac{1}{46,5}$	14,4	92,7	0,0137	0,0160	FE=408 N. Dynamomètre à compteur de 600 kil.	
				Moyenne	0,0139	0,0163		
70,2 / 47,0 } 708	178,2	$\frac{1}{27,7}$	25,3	152,9	0,0136	0,0206	$p'=p''=228$ k. $\frac{P_1-T\sin\alpha}{r'}=11232$k.	
66,0 / 59,6 } 717,8	180,6	$\frac{1}{26,5}$	25,3	155,3	0,0138	0,0209	$\frac{P_1-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}=7419$ k. $\sqrt{r'}=0,660$ $\cos\alpha=0,988$.	
68,5 / 68,2 } 708,3	178,2	$\frac{1}{28}$	25,3	152,9	0,0136	0,0206	$f\frac{\rho'}{r'}=0,00567$. FE=265,3 N. Même dynamomètre.	
				Moyenne	0,0137	0,0207		
» / »	60,3 / 153 } 106,6	$\frac{1}{46,2}$	9,6	97,0	0,0200	0,0198	Dynamomètre à styles de 300 k.	
» / »	64,9 / 143 } 103,5	$\frac{1}{47,7}$	9,6	93,9	0,0193	0,0192		
				Moyenne	0,0197	0,0195		
3 / 8 } 930,8	234,1	$\frac{1}{21,1}$	25,3	208,8	0,0186	0,0282	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	
2 / 2 } 892	224,5	$\frac{1}{21,9}$	25,3	199,2	0,0177	0,0268	Mêmes données qu'à la 3e série.	
				Moyenne	0,0182	0,0275		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière. 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvem
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
6	1	Route départem. n. 31, en face de la caserne de Courbe-voie, conduisant au rond-point. — En empierrem., très sèche, offrant un frayé dans lequel il y avait de la poussière.	Charrette de siége, ancien modèle.	300	2	2,029	»	0,115	3088	2604	»	3	Pas	0 98	Aller.
	2													1,17	Retour
	3													0,96	Aller.
	4													1,19	Retour
	5													0,89	Aller.
	6													1,13	Retour
	7													0,96	Aller.
	8													1,15	Retour
7	1	Idem.	Charrette de siége nouveau modèle.	300	2	0,872	»	0,115	3008,5	2780,5	»	4	Pas	0,95	Aller.
	2													1,18	Retour
	3													1,04	Aller.
	4													1,19	Retour
	5													1,03	Aller.
	6													1,15	Retour
	7													0,98	Aller.
	8													1,15	Retour
8	1	Route de Courbevoie à Colombes couverte d'un peu de poussière.	Charrette de siége, nouveau modèle.	200	2	0,872	»	0,115	3008,5	2780,5	»	4	Pas	0,75	Aller.
	2													0,74	Retour
	3													0,75	Aller.
	4													0,82	Retour
	5													1,38	Aller.
	6													1,42	Retour
	7													1,38	Aller.
	8													1,54	Retour
9	1	Même route, très sèche.	Porte-corps d'artillerie.	200	4	1,453	1,453	0,115	5250	2779	2279	4	Pas	1,10	Aller.
	2													1,08	Retour
	3													1,10	Aller.
	4													1,09	Retour

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F		RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient.		DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
							$A=\frac{Rr}{P}$.	$A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$		
		k.			k.	k.	k.	k.		
38,8 6,2	22,5	47,2		$\frac{1}{65,2}$	6,3	40,9	0,0134	0,0133	$\frac{P_1}{r'}=3045.$ $\frac{P'}{\sqrt{r'}}=3067.$	
37,9 5,4	21,7	44,5		$\frac{1}{67,5}$	6,3	38,2	0,0126	0,0125	$p'=484$ kil.	
38,0 6,0	22	46,1		$\frac{1}{67}$	6,3	39,8	0,0131	0,0130	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00245.$ FE = 629 N.	
37,2 6,0	21,6	45,3		$\frac{1}{68}$	6,3	39,0	0,0128	0,0127	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	
						moyenne	0,0130	0,0127		
144,5 60,3	102,4	89,0		$\frac{1}{34,7}$	15,8	73,2	0,0107	0,0161	$\frac{P_1'-T\sin\alpha}{r'}=6869.$	
151 60	105,5	92,9		$\frac{1}{33,3}$	15,8	76,1	0,0111	0,0168	$\frac{P_1-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}=4537.$ $\frac{f\rho'}{r'}=0,00567.$	
150 75	112,5	97,8		$\frac{1}{31,5}$	15,8	81,0	0,0118	0,0179	$\cos\alpha=0,983.$ FE = 265,3 N.	
153 63	108,0	93,9		$\frac{1}{32,9}$	15,8	77,1	0,0112	0,0170	Dynamomètre à compteur de 600 k.	
						moyenne	0,0112	0,0169		
» »		108,3 89,8	99	$\frac{1}{31}$	15,8	83,2	0,0121	0,0183	$\frac{P_1-T\sin\alpha}{r'}=6869.$	
» »		93,8 83,6	88,7	$\frac{1}{34,7}$	15,8	72,9	0,0106	0,0161	$\frac{P_1-T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}=4537.$	
» »		96,3 83,5	89,9	$\frac{1}{34,3}$	15,8	74,1	0,0108	0,0164	Dynamomètre à styles de 300 k.	
» »		98,5 88,9	93,7	$\frac{1}{33}$	15,8	77,9	0,0113	0,0172		
						moyenne	0,0112	0,0170		
»		93,0		$\frac{1}{56,5}$	15,5	77,5	0,0107	0,0126	$\frac{P_1}{r'}=7226$, $\frac{f\rho'}{r'}=0,00340.$	
»		96,5		$\frac{1}{54,5}$	15,5	81,0	0,0112	0,0131	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=6162.$	
»		99,0		$\frac{1}{53,1}$	15,5	83,5	0,0116	0,0136	Dynamomètre à styles.	
»		98,5		$\frac{1}{54,5}$	15,5	83,0	0,0115	0,0135		
						moyenne	0,0112	0,0132		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
10	1	Route de Courbevoie à Colombes, un peu moins sèche.	Chariot. Porte-corps d'artillerie.	200	4	1,453	1,453	0,115	5250	2279	2279	4	Pas	1,17	Aller.
	2													0,97	Retour.
	3													0,95	Aller.
	4													0,95	Retour.
11	1	Même route, sèche, avec poussière, offrant un frayé très léger.	Idem.	260	4	0,872	0,872	0,115	4924	2234	2234	4	Pas	1,40	Aller.
	2													1,45	Retour.
	3													1,07	Aller.
	4													1,24	*Retour.*
12	1	Route départementale n° 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche et ferme.	Idem.	184	4	1,449	1,449	0,060	5516	2546	2546	4	Pas	1,45	Aller.
	2													1,39	Retour.
	3													1,39	Aller.
	4													1,38	Retour.
	5													1,29	Aller.
	6													1,23	Retour.
13	1	Même route.	Voitures à trains articulés.	400	6	0,860	0,860	0,060	3270	980 sur chaque train.	»	2	Pas	1,50	Aller.
	2													1,50	Retour.
	3													1,66	Aller.
	4													1,48	Retou
14	1	Même route, en même état.	Même voiture.	400	4	0,860	0,860	0,060	3270	1525	1525	2	Pas	1,43	Aller.
	2													1,48	Retour.
	3													1,45	Aller.
	4													1,45	Retour.
15	1	Route de Courbevoie à Colombes, avec ornières remplies de boue liquide.	Charrette de siége nouveau modèle.	125	2	0,872	»	0,115	3008	2780	»	3	Pas	1,50	Aller.
	2													1,50	Retour.
	3													1,48	Aller
	4													1,50	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$.	$A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.				
52,7 / 45,0 } 48,8	99,5	$\frac{1}{53}$	15,5	84,0	0,0116	0,0136	$\frac{P_1}{r'}=7226$, $\frac{P'}{\sqrt{r'}}=6162$. FE = 408 N. Dynamomètre à compteur de 600k.	
53,0 / 46,5 } 49,7	101,4	$\frac{1}{52}$	15,5	85,9	0,0119	0.0139		
				Moyenne	0,0117	0,0137		
» / »	117,6 / 202,5 } 160,0	$\frac{1}{30,9}$	25,3	134,7	0,0120	0,0181	Dynamomètre à styles de 300 k.	
» / »	134,3 / 195,6 } 164,9	$\frac{1}{29,9}$	25,3	139,6	0,0124	0,0188		
				Moyenne	0,0122	0,0184		
33,4 / 43,2 } 38,3	89,0	$\frac{1}{62}$	17,4	71,6	0,0094	0,0110	$\frac{P_1}{r'}=7613$. $\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=6481$.	
31,3 / 45,5 } 38,4	89,0	$\frac{1}{62}$	17,4	71,6	0,0094	0,0110	Dynamomètre à compteur. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00341$.	
32,0 / 45,8 } 38,9	90,5	$\frac{1}{61,2}$	17,4	73,1	0,0096	0,0113		
				Moyenne	0,0095	0,0111		
» / »	67 / 111 } 89	$\frac{1}{36,7}$	9,7	79,3	0,0104	0,0159	$p'=p''=110$ k. $\sqrt{r'}=0,656$. $\rho'=\rho''=\rho'''=0^m,0219$. $\frac{P_1}{r'}=7605$. $\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=4985$.	
» / »	78 / 103 } 90,5	$\frac{1}{36}$	9,7	80,8	0,0106	0,0162	$\frac{f\rho'}{r'}=0,0331$.	
				Moyenne	0,0105	0,0160	Dynamomètre à styles de 300 k.	
» / »	68,2 / 99,0 } 83,6	$\frac{1}{39,2}$	10,2	73,4	0,0096	0,0147	Dynamomètre à styles.	
» / «	74,3 / 106,7 } 90,5	$\frac{1}{36.2}$	10,2	80,3	0,0105	0,0161		
				Moyenne	0,0100	0,0154		
» / »	169,1 / 207,3 } 188,2	$\frac{1}{16,1}$	15,7	172,5	0,0252	0,0383	$\frac{P_1 - T\sin\alpha}{r'}=6829$. $\frac{P_1 - T\sin\alpha}{\sqrt{r'}}=4511$.	
» / »	169,1 / 178,8 } 174,4	$\frac{1}{17,4}$	15,7	158,5	0,0232	0,0352	Dynanomètre à styles.	
				Moyenne	0,0242	0,0367		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P₁	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvement
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
16	1	Route de Courbevoie à Colombes, avec ornières remplies de boue liquide.	Chariot porte-corps d'artillerie.	125	4	1,453	1,453	0,115	5258	2283	2283	4	Pas	1,02	Aller.
	2													1,00	Retour.
	3													0,99	Aller.
	4													1,00	Retour.
17	1	Idem.	Idem.	125	4	1,453	1,453	0,115	5258	2283	2283	4	Pas	1,02	Aller.
	2													1,25	Retour.
	3													1,04	Aller.
	4													1,04	Retour.
	5													1,02	Aller.
	6													1,03	Retour.
18	1	Accotement en terre de la route royale n. 192, très sec, couvert de beaucoup de poussière.	Charrette de siége, nouveau modèle.	200	2	2,029	»	0,115	2008	1524	»	2	Pas	1,33	Aller.
	2													1,34	Retour.
	3													1,30	Aller.
	4													1,34	Retour.
	5													1,39	Aller.
	6													1,40	Retour.
	7													1,38	Aller.
	8													1,31	Retour.
19	1	Même accotement.	Chariot porte-corps d'artillerie.	200	4	1,453	1,453	0,115	5518	2413	2413	4	Pas	1,01	Aller.
	2													1,02	Retour.
	3													1,00	Aller.
	4													1,07	Retour.
	5													1,00	Aller.
	6													1,04	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$	VALEUR du coefficient $A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.				
» »	210 / 209 } 209,5	$\frac{1}{25,1}$	15,6	193,9	0,0268	0,0314	$\frac{P_1}{r'}=7237$. $\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=6172$.	
» »	211 / 207 } 209	$\frac{1}{25,2}$	15,6	193,4	0,0268	0,0314	Dynamomètre à styles.	
				Moyenne	0,0268	0,0314		
62,6 / 57,7 } 60,2	196,5	$\frac{1}{26,7}$	15,6	180,9	0,0250	0,0293	$\frac{P_1}{r'}=7237$. $\frac{P}{\sqrt{r'}}=6172$.	
56,5 / 58,0 } 57,3	187,0	$\frac{1}{28,2}$	15,6	171,4	0,0237	0,0278	FE = 408 N.	
55,8 / 58,8 } 57,3	187,0	$\frac{1}{28,2}$	15,6	171,4	0,0237	0,0278	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	
				Moyenne	0,0241	0,0283		
14,5	45,6	$\frac{1}{45,5}$	3,7	41,9	0,0212	0,0210		
13,9	43,7	$\frac{1}{47,5}$	3,7	40,0	0,0202	0,0201	$\frac{P_1}{r'}=1979$.	
14,8	46,6	$\frac{1}{44,6}$	3,7	42,9	0,0217	0,0215		
14,6	45,9	$\frac{1}{45,1}$	3,7	41,2	0,0208	0,0207	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00243$.	
14,4	45,3	$\frac{1}{45,8}$	3,7	41,6	0,0205	0,0208	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=1994$.	
13,0	40,9	$\frac{1}{50,8}$	3,7	36,2	0,0183	0,0181	Dynamomètre à compteur.	
13,3	41,9	$\frac{1}{49,6}$	3,7	37,2	0,0188	0,0187		
13,0	40,9	$\frac{1}{50,8}$	3,7	36,2	0,0183	0,0181		
				Moyenne	0,0200	0,0199		
»	175,5	$\frac{1}{31,5}$	16,4	159,1	0,0210	0,0246		
»	179,0	$\frac{1}{30,8}$	16,4	162,6	0,0214	0,0251	$\frac{P_1}{r'}=7595$.	
»	172,5	$\frac{1}{31,9}$	16,4	154,1	0,0203	0,0238		
»	183,0	$\frac{1}{30,2}$	16,4	166,6	0,0219	0,0257	$\frac{P}{\sqrt{r'}}=6476$.	
»	183,0	$\frac{1}{30,2}$	16,4	166,6	0,0219	0,0257	Dynamomètre à styles.	
»	174,0	$\frac{1}{31,7}$	16,4	157,6	0,0207	0,0243		
				Moyenne	0,0212	0,0249		

N°s des séries.	N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant $2r'$	Diamètre des roues de derrière $2r''$	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
	1													1,25	Aller.
	2													1,26	Retour.
20	3	Route roy. n. 192, sur le pavé, très sec, en état ordinaire d'entretien.	Chariot porte-corps d'artillerie.	300	4	2,029	2,029	0,115	4692	1862	1862	4	Pas	1,27	Aller.
	4													»	Retour.
	5													»	Aller.
	6													»	Retour.
	1													1,05	Aller.
	2													1,25	Retour.
21	3	Même route.	»	300	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,26	Aller.
	4													1,25	Retour.
	5													1,26	Aller.
	6													1,27	Retour.
	1													1,38	Aller.
	2													1,41	Retour.
22	3	Même route.	Chariot Comtois.	300	4	1,11	1,358	0,060	1871	823,5	795	1	Pas	1,30	Aller.
	4													1,33	Retour.
	5													1,40	Aller.
	6													1,36	Retour.
	1													1,50	Aller.
23	2	Même route.	Voiture à trains articulés.	300	3	0,0860	0,0860	0,060	3270	980 sur chaque train.	»	2	Pas	1,54	Retour.
	3													1,52	Aller.
	4													1,52	Retour.
	1													1,46	Aller.
24	2	Même route.	Même voiture.	300	4	0,0860	0,0860	0,060	3270	1525	1525	2	Pas	1,40	Retour.
	3													1,47	Aller.
	4													1,38	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$	$A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
»	k. 53,3	$\frac{1}{83,5}$	k. 9,0	k. 44,3	0,0096	0,0095		
»	51,0	$\frac{1}{92}$	9,0	42,0	0,0091	0,0090	$\frac{P_1}{r'}=4695.$	
»	50,6	$\frac{1}{92,8}$	9,0	41,6	0,0090	0,0090		
»	50,3	$\frac{1}{93,2}$	9,0	41,3	0,0090	0,0089	$\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=4659.$	
»	52,3	$\frac{1}{89,5}$	9,0	43,3	0,0094	0,0093	Dynamomètre à styles.	
»	51,2	$\frac{1}{91,7}$	9,0	42,2	0,0091	0,0091		
				moyenne	0,0092	0,0090		
»	71,5	$\frac{1}{64,5}$	13,2	58,3	0,0092	0,0108		
»	74,4	$\frac{1}{61,6}$	13,2	61,2	0,0097	0,0114	$\frac{P_1}{r'}=6323.$	
»	71,4	$\frac{1}{64,3}$	13,2	58,2	0,0092	0,0108		
»	69,4	$\frac{1}{66,1}$	13,2	56,2	0,0089	0,0104	$\frac{P}{\sqrt{r'}}=5392.$	
»	69,1	$\frac{1}{66,4}$	13,2	55,9	0,0089	0,0104	Dynamomètre à styles.	
»	72,9	$\frac{1}{63}$	13,2	59,7	0,0094	0,0111		
				moyenne	0,0092	0,0108	$p'=111$ k., $p''=142$ k. par roue.	
20,0	31,6	$\frac{1}{59}$	4,7	26,9	0,0087	0,0112	$\frac{P'_1}{r'}+\frac{P''_1}{r''}=3079.$	
19,0	30,0	$\frac{1}{62,3}$	4,7	25,3	0,0082	0,0106	$\frac{P'_1}{\sqrt{r'}}+\frac{P''_1}{\sqrt{r''}}=2398.$	
19,8	31,3	$\frac{1}{60}$	4,7	26,6	0,0086	0,0111		
21,0	33,2	$\frac{1}{56,5}$	4,7	28,5	0,0093	0,0119	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00324$, $\rho'=\rho''=0^m,0274.$	
22,0	34,7	$\frac{1}{54}$	4,7	30,0	0,0097	0,0125	$\frac{f\rho''}{r''}=0,00262.$	
20,3	32,0	$\frac{1}{58,5}$	4,7	27,3	0,0089	0,0114	FE=474 N.	
				moyenne	0,0089	0,0115	Dynamomètre à compteur.	
»	87,4	$\frac{1}{37,4}$	9,7	77,7	0,0102	0,0156	$p'=55$ kil. par roue.	
»	78,5	$\frac{1}{41,6}$	9,7	68,8	0,0091	0,0138	$\rho'=\rho''=0^m,0219$, $\frac{f\rho'}{r'}=0,00331.$	
»	78,9	$\frac{1}{41,5}$	9,7	69,2	0,0091	0,0139	$\frac{P_1}{r'}=7605$, $\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=4985.$	
»	79,4	$\frac{1}{41,2}$	9,7	69,7	0,0092	0,0140	Même dynamomètre.	
				moyenne	0,0094	0,0143		
»	77,2	$\frac{1}{42,3}$	9,7	67,5	0,0089	0,0135		
»	82,0	$\frac{1}{39,8}$	9,7	72,3	0,0095	0,0145		
»	77,5	$\frac{1}{42,2}$	9,7	67,8	0,0089	0,0136	Dynamomètre à styles.	
»	78,4	$\frac{1}{41,7}$	9,7	68,7	0,0090	0,0138		
				moyenne	0,0091	0,0138		

N°s des séries.	N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem^t
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
	1													1,29	Aller
	2													1,16	Retour
	3													»	Aller
	4													1,23	Retour
25	5	Route roy. n. 192, sur le pavé, très sec, en état ordinaire d'entretien.	Camion des ateliers des Messageries Générales.	500	4	0,592	0,660	0,075	1500	824	541	1	Pas	1,13	Aller
	6													1,17	Retour
	7													1,17	Aller
	8													1,17	Retour
	9													1,08	Aller
	10													1,17	Retour
	1													»	Aller
	2													»	Retour
	3													»	Aller
	4													»	Retour
	5													»	Alle
	6													»	Retour
	7													1,20	Aller
26	8	Boulevart du Mont-Parnasse, à Paris, chaussée pavée, en état ordinaire d'entretien.	Camion ordinaire de roulage.	500	4	0,420	0,597	0,075	1600	681,8	773,8	1	Pas	1,04	Retour
	9													1,11	Aller
	10													1,20	Retour
	11													1.17	Aller
	12													1,20	Retour
	13													1,20	Aller
	14													1,20	Retour
	15													1,01	Aller
	16													1,17	Retour

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$	$A' = \frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k. 60,7 / 39,4 } 50,0	$\frac{1}{30}$	k. 8,8	k. 41,2	0,0086	0,0155	$p' = 63$ kil. $p'' = 72$ kil. $\frac{f\rho'}{r'} = 0{,}0067$.	
	61,3 / 39,5 } 50,4	$\frac{1}{29{,}8}$	8,8	41,6	0,0087	0,0157	$\rho' = \rho'' = 0^m{,}0305$. $\frac{f\rho''}{r''} = 0{,}0060$. $\cos\alpha = 0{,}971$.	
	67,0 / 39,7 } 53,4	$\frac{1}{28{,}1}$	8,8	44,6	0,0093	0,0168	$P_1' = 887$. $P_1'' = 613$. Dist. des axes des essieux, $1^m{,}86$	
	66,7 / 40,4 } 53,5	$\frac{1}{28{,}1}$	8,8	44,7	0,0094	0,0168	Dist. du centre de gravité à l'essieu de { devant, $0^m{,}76$; derrière, $1^m{,}10$	
	65,3 / 42,9 } 54,1	$\frac{1}{27{,}8}$	8,8	45,3	0,0095	0,0171	$\frac{P_1' - T\sin\alpha}{r'} = 2951{,}7$; $\frac{P_1''}{r''} = 1819{,}9$ } 4773,6.	
				Moyenne	0,0091	0,0164	$\frac{P_1' - T\sin\alpha}{\sqrt{r'}} = 1607{,}1$; $\frac{P_1''}{\sqrt{r''}} = 1145{,}9$ } 2653,0.	
	79,0 / 44,3 } 61,7	$\frac{1}{26}$	11,6	50,1	0,0080	0,0159		
	83,5 / 48,6 } 66,0	$\frac{1}{24{,}3}$	11,6	54,4	0,0086	0,0173	$p' = 57^k{,}4$. $p'' = 87^k{,}0$. $\rho' = \rho'' = 0^m{,}0305$.	
	83,5 / 55,7 } 69,6	$\frac{1}{23}$	11,6	58,0	0,0092	0,0185	Dist. des axes des essieux, $2^m{,}10$. Dist. du centre de gravité à l'essieu de { devant, $1^m{,}13$; derrière, $0^m{,}97$	
	82,7 / 57,4 } 70,0	$\frac{1}{22{,}9}$	11,6	58,4	0,0093	0,0186	$\frac{P_1' - T\sin\alpha}{r'} = 3424$; $\frac{P_1''}{r''} = 2883$ } $= 6307$.	Dynamomètre à styles de 450 kil.
	83,4 / 57,2 } 70,3	$\frac{1}{22{,}8}$	11,6	58,7	0,0093	0,0187	$\frac{f\rho'}{r'} = 0{,}00944$.	
	82,9 / 56,4 } 69,6	$\frac{1}{23}$	11,6	58,0	0,0092	0,0185	$f = 0{,}065$. $\frac{f\rho''}{r''} = 0{,}00664$.	
	81,7 / 56,1 } 68,9	$\frac{1}{23{,}2}$	11,6	57,3	0,0091	0,0182	$P' = 681^k{,}8$. $P'' = 773^k{,}8$. $\sqrt{r'} = 0{,}458$. $\sqrt{r''} = 0{,}5465$.	
	83,5 / 55,3 } 69,4	$\frac{1}{23{,}1}$	11,6	57,8	0,0092	0,0184	$\frac{P_1' - T\sin\alpha}{\sqrt{r'}} = 1570$; $\frac{P_1''}{\sqrt{r''}} = 1576$ } 3146.	
				Moyenne	0,0089	0,0180	$\cos\alpha = 0{,}958$.	

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvem.
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
27	1	Même route pavée, couverte d'un peu de boue épaisse.	Chariot porte-corps d'artillerie.	300	4	0,872	0,872	0,115	6075	2846	2773	8	Pas	1,03	Aller.
	2													1,05	Retour.
	3													1,07	Aller.
	4													1,07	Retour.
	5													1,09	Aller.
	6													1,03	Retour.
28	1	Même route pavée, couverte d'un peu de boue liquide.	Charrette.	300	2	1,83	»	0,165	5099	4469	»	4	Pas	1,00	Aller.
	2													1,16	Retour.
	3													1,08	Aller.
	4													1,05	Retour.
	5													0,98	Aller.
	6													1,04	Retour.
	7													0,91	Aller.
	8													1,00	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$.	$A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
		k.		k.	k.				
207 193	200	176,9	$\frac{1}{35,4}$	31,8	145,1	0,0104	0,0158	$\frac{P_1}{r'}=13933$. $\frac{P_1}{\sqrt{r'}}=9205$. FE = 265,3 N. Dynamomètre à compteur.	
201 197,5	199	176,1	$\frac{1}{34,8}$	31,8	144,5	0,0103	0,0157		
202,5 179,0	195,7	164,7	$\frac{1}{36,2}$	31,8	132,9	0,0095	0,0 44		
					Moyenne	0,0102	0,0153		
51,5 53,6	52,5	86,0	$\frac{1}{78,3}$	20,8	65,2	0,0117	0,0122	$p'=315$k. par roue. $\frac{P_1}{r}=5572$. $\frac{P_1}{\sqrt{r}}=5330,5$. $\sqrt{r}=0,9566$. $\rho=0^m,0427$. $f=0,1$. $\frac{f\rho}{r}=0,00466$. FE = 490,8 N. Dynamomètre à compteur.	Les essieux de cette charrette, ayant été visités après les expériences, ont été trouvés simplement onctueux, et l'on a pris dans les calculs $f=0,10$, ce qui est plutôt une valeur trop faible que trop forte pour le rapport du frottement à la pression.
50,0 50,9	50,4	82,5	$\frac{1}{82,7}$	20,8	61,7	0,0111	0,0116		
50,0 51,7	50,8	83,2	$\frac{1}{81,8}$	20,8	62,4	0,0112	0,0117		
49,5 48,7	49,1	80,3	$\frac{1}{85,8}$	20,8	59,5	0,0107	0,0112		
					Moyenne	0,0112	0,0117		

NUMÉROS DES SÉRIES.	DÉSIGNATION DE LA ROUTE.	VOITURE employée.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière $2r'$	LARGEUR des bandes.	ALLURE.	VITESSE moyenne.	VALEURS MOYENNES des coefficients. $A = \frac{Rr}{P}$	$A' = \frac{R\sqrt{r}}{P}$
				m.	m.	m.		m.		
1	Route départementale n. 132, allant de Courbevoie à Colombes, en empierrem. de gravier siliceux, très sèche, offrant, sur quelques parties de sa longueur, des débris de matériaux non agglomérés, et présentant un frayé très léger.	Porte-corps d'artillerie.	4	2,029	2,029	0,115	pas.	1,09	0,0148	0,0147
2			4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,03	0,0139	0,0163
3			4	0,872	0,872	0,115	pas.	1,11	0,0137	0,0207
4	Même route très humide, sans boue, légèrement humectée par une pluie fine, qui avait abattu la poussière.	Porte-corps d'artillerie.	4	2,029	2,029	0,115	pas.	1,03	0,0197	0,0195
5			4	0,872	0,872	0,115	pas.	1,42	0,0182	0,0275
6	Route départementale n. 31, en face de la caserne de Courbevoie, en empierrement, très sèche, offrant un frayé léger, dans lequel il y avait de la poussière.	Char. de siége anc. mod.	2	2,029	»	0,115	pas.	1,04	0,0130	0,0127
7		Id. n. mod.	2	0,872	»	0,115	pas.	1,08	0,0112	0,0169
8	Route départem. n. 132, de Courbevoie à Colombes, très sèche, couverte d'un peu de poussière, sans frayé.	Ch. de siége nouv. mod.	2	0,872	»	0,115	pas.	1,43	0,0112	0,0170
9		Porte-corps d'artillerie.	4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,08	0 0112	0,0132
10			4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,08	0,0117	0,0137
11			4	0,872	0,872	0,115	pas.	1,29	0,0122	0,0184
12	Route départem. n. 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche.	P.-corps d'artillerie.	4	1,449	1,449	0,060	pas.	1,33	0,0095	0,0111
13		Voiture à trains articulés.	6	0,860	0,860	0,060	pas.	1,36	0,0105	0,0160
14			4	0,860	0,860	0,060	pas.	1,45	0,0100	0,0154
15	Route départem. n. 132, de Courbevoie à Colombes; ornières avec boue liquide.	Ch. de siége nouv. mod.	2	0,872	»	0,115	pas.	1,50	0,0242	0,0367
16		Porte-corps d'artillerie.	4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,00	0,0268	0,0314
17			4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,06	0,0244	0,0283
18	Accotement de la route royale n. 192, couvert de poussière.	Ch. de siége anc. mod.	2	2,029	»	0,115	pas.	1,33	0,0200	0,0199
19		P.-corps d'artillerie.	4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,02	0,0212	0,0249
20	Route royale n. 192, pavée, en état ordinaire d'entretien, sèche.	Porte-corps d'artillerie.	4	2,029	2,029	0,115	pas.	1,25	0,0092	0,0090
21			4	1,453	1,453	0,115	pas.	1,23	0,0092	0,0108
22		Ch. de roul.	4	1,110	1,358	0,060	pas.	1,40	0,0089	0,0115
23		Voiture à trains articulés.	6	0,860	0,860	0,060	pas.	1,52	0,0094	0,0143
24			4	0,860	0,860	0,060	pas.	1,48	0,0091	0,0138
25		Camion des Messager.	4	0,592	0,660	0,075	pas.	1,18	0,0091	0,0164
26		Camion de roulage.	4	0,420	0,597	0,075	pas.	1,15	0,0089	0,0180
								Moyenne	0,0091	
27	Même route, avec un peu de boue.	P.-corps d'artillerie.	4	0,872	0,872	0,115	pas.	1,52	0,0102	0,0153
	Même route, couverte de boue liquide.	Charrette.	2	1,830	»	0,163	pas.	1,05	0,0111	0,0117

45. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* — Le tableau précédent contient les vingt-huit séries comprenant cent soixante-dix expériences faites en 1839 et 1840 sur des routes différentes d'état et de nature : vingt de ces séries ont été exécutées avec des voitures à quatre roues, de diamètres différents, six avec des charrettes à deux roues, et deux avec une voiture à six roues.

La comparaison des résultats obtenus dans des circonstances semblables montre que la résistance au tirage, sur des routes ordinaires, en empierrement solide, et sur le pavé, est indépendante du nombre des roues; ce qui prouve que des expériences faites avec des voitures à quatre roues, pour l'étude de l'influence des roues sur le tirage, méritent au moins autant de confiance que celles qui sont relatives à des charrettes, et comme les premières sont plus faciles à exécuter et donnent des résultats plus précis, je pense qu'il convient de donner la préférence à l'emploi des voitures à quatre roues égales pour ce genre de recherches.

Si l'on jette un coup d'œil sur les deux colonnes qui donnent la valeur du coefficient

$$A = \frac{Rr}{P},$$

qui doit être constant si la résistance est inversement proportionnelle au rayon de la roue, et l'autre la valeur du coefficient

$$A' = \frac{R\sqrt{r}}{P},$$

qui devrait l'être si la résistance était inversement proportionnelle à la racine carrée du rayon, on voit de suite que, pour presque toutes les séries, les valeurs du coefficient A correspondant à la première loi sont sensiblement constantes ou ne diffèrent entre elles que de $\frac{1}{11}$ à $\frac{1}{13}$, et le plus souvent moins, tandis que les valeurs du coefficient A varient souvent dans le rapport de 2 à 3 ou de 3 à 4, et sur le pavé dans celui de 1 à 2.

Les séries d'expériences qui manifestent le mieux cette conséquence sont les première, deuxième et troisième, exécutées, la première et la troisième, le même jour, et immédiatement l'une après l'autre, et la deuxième, le lendemain matin, sur la même route, aussi exactement que possible au même état, en suivant les mêmes traces, avec le même instrument et des voitures pareilles, sauf le diamètre des roues; et celles des vingtième, vingt-et-unième, vingt-deuxième, vingt-troisième, vingt-quatrième, vingt-cinquième et vingt-sixième séries, qui ont été exécutées sur le pavé, avec une charrette à deux roues, un porte-corps à quatre roues, une voiture à trains articulés, montées successivement sur six et sur quatre roues, et avec deux camions.

Les deux séries qui offrent la plus grande différence dans les valeurs de $A=\frac{Rr}{P}$ sont les sixième et septième, exécutées sur une route en empierrement avec deux charrettes d'artillerie ayant des diamètres respectivement égaux à 2,029 et $0^m,872$. La différence des valeurs de A ne s'élève néanmoins qu'à $\frac{1}{6.3}$ de la plus petite des deux valeurs, tandis que celles de A', pour les mêmes séries, s'élèvent à $\frac{1}{3}$ de la plus petite. Il est d'ailleurs facile d'expliquer comment ces expériences sont moins d'accord entre elles que les autres : cela tient à ce qu'elles ont été faites sur une route qui offrait un frayé sensible, et que la voiture à roues de $2^m,029$ avait $0^m,10$ de voie de plus que l'autre, qui avait exactement la voie du frayé.

C'est cette différence qui m'a empêché de faire, avec la voiture à grandes roues, des expériences semblables à celles des séries 15e, 16e et 17e, dans des ornières pleines de boue. Mais les résultats obtenus sur des diamètres de $0^m,872$ et de $1^m,453$ sont assez marquants, car le nombre $A=\frac{Rr}{P}$ n'a varié de l'une à l'autre série que de $\frac{1}{9}$ au plus, tandis que le nombre $A'=\frac{R\sqrt{r}}{P}$ a varié de $\frac{1}{3}$ environ ; on sait d'ailleurs combien il est difficile d'obtenir des résultats offrant un accord satisfaisant, quand on opère seulement à un jour de distance sur des routes à ornières, quoique l'on prenne soin, comme on l'avait fait, de les mettre aussi exactement que possible au même état d'humidité.

Les expériences sur l'accotement en terre de la route royale n° 192, sec, couvert de poussière (séries 18e et 19e), donnent pour le nombre $A=\frac{Rr}{P}$ des valeurs qui ne diffèrent d'une voiture à l'autre que $\frac{1}{16.6}$ tandis que celles de $A=\frac{R\sqrt{r}}{P}$ diffèrent de $\frac{1}{4}$.

On voit donc que les cent soixante-dix expériences contenues dans le tableau précédent confirment les résultats des expériences de 1838, quant à l'influence, des diamètres avec une exactitude bien suffisante pour les applications.

Nous ferons remarquer que les neuvième et dixième séries ont été exécutées l'une avec le dynamomètre à styles de 300^k, et l'autre avec le dynamomètre à compteur de 600^k, dans des circonstances identiques et avec la même voiture, et qu'elles ont fourni des résultats qui s'accordent à $\frac{1}{11}$ près, ce qui montre l'exactitude du dynamomètre à compteur.

46. *Valeurs moyennes du coefficient A pour divers états des routes.* — On remarquera aussi que ces expériences indiquent pour le coefficient $A=\frac{Rr}{P}$,

relatif aux routes en empierrement, les valeurs suivantes pour toutes les voitures allant au pas :

Route très sèche, unie, avec un peu de poussière.	A=0,0100 à 0,0110
Route très peu humide ou recouverte d'une couche notable de poussière.	A=0,0120 à 0,0130
Route humide sans boue.	A=0,0140 à 0,0150
Route très solide, mouillée, avec un peu de boue très liquide, ou sèche, offrant un frayé sensible, avec poussière et débris de matériaux.	A=0,0160 à 0,0180
Route un peu fatiguée, couverte de boue épaisse.	A=0,0200 à 0,0270
Pavé de grès de Fontainebleau en état ordinaire.	A=0,0090
Pavé de même nature couvert de boue.	A=0,0100 à 0,0110

47. *Accord des résultats obtenus en* 1838 *et* 1839. — Ces chiffres, qui donnent les valeurs moyennes relatives à divers états des routes, sont à très peu près les mêmes que nous avons obtenus à Metz en 1838, sur les routes en empierrement de gravier de la Moselle, à des états de sécheresse ou d'humidité analogues, avec des voitures à deux ou à quatre roues de différents diamètres. Nous choisissons, pour le constater, le cas où l'état des routes peut être le plus exactement apprécié : c'est celui où elles sont très sèches et où l'on opère par un temps chaud, et nous rapporterons par anticipation quelques résultats consignés dans les tableaux relatifs à d'autres expériences dont il sera parlé plus loin.

DÉSIGNATION de la route.	ETAT de la route.	APPAREIL ou voiture employée.	NOMBRE de roues.	DIAMÈTRE des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière. $2r''$	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$	INSTRUMENT employé pour ces expériences.	OBSERVATIONS
				m.	m.			
Route de la gorge du fort Belle-Croix à Metz.	En bon état, avec très peu de cailloux à fleur du sol.	Appareil avec arbre en fonte, avec des rouleaux de 0m,090, 0m,135 et 0m,260 de largeur.	2	0,787	»	0,0113 0,0094 0,0097	Dynamomètre à styles.	Voir au tablea du n° 59.
Route de Metz à Thionville.	En bon état, avec cailloux à fleur du sol.	Chariot d'artillerie.	4	1,150	1,585	0,0098 0,0090	Dynamomètre à compteur. Dynamomètre à styles.	Tableaux du n° 70; expér. 43, 44, 53 à 5.
Route de Metz à Montigny, près la citadelle.	Entretenue avec de très petits graviers, très unie, sans poussière.	Affût de 16 avec sa pièce.	4	1,564	1,564	0,0115	Dynamomètre à styles.	Tableau du n° 7 expér. 60 à 62.
Route départem. n. 8, de Courbev. à Bezons.	En bon état, avec cailloux à fleur du sol.	Porte-corps d'artillerie.	4 4	1,438 1,449	1,438 1,449	0,0107 0,0095	Dynamomètre à compteur.	N° 63.
		Voiture à trains articulés, suspendue.	6 4	0,860 0,860	0,860 0,860	0,0105 0,0100	Dynamomètre à styles.	N° 44.
Route départem. n. 32, de Courb. à Colombes.	En bon état, un peu de cailloux à fleur du sol.	Porte-corps d'artillerie avec diverses charges.	4	1,453	1,453	0,0095 0,0102	Dynamomètre à compteur.	Tableau des exp sur les dégrad produites par le roues de mêm largeur de band de diamèt. diffé
Route départem. n. 131, en face de la caserne de Courbevoie.	En bon état, avec très peu de cailloux à fleur du sol.	Fourgon des Messageries Générales.	4	0,925	1,420	0,0095	Dynamomètre à compteur.	Tableau des exp sur les dégrad produites par le voitures suspen allant au trot.
					Moyenne générale	0,0100		

48. *Conséquences du tableau précédent.* — Ce tableau montre que la moyenne des séries d'expériences exécutées dans le département de la Moselle et dans celui de la Seine, sur des routes en empierrement de gravier siliceux, avec des voitures de dimensions et d'espèces différentes, est $A = 0,0100$, nombre que l'on peut regarder comme une sorte de valeur minimum de cette quantité sur les routes de ce genre, et relative aux plus belles époques de la saison d'été.

Cet accord montre que, quand on opère avec soin sur des routes construites avec des matériaux semblables, à des états qu'un examen attentif permet d'estimer les mêmes, le tirage ne varie pas notablement, et qu'il n'est pas absolument nécessaire d'opérer exactement sur les mêmes endroits, pour avoir des résultats comparables entre eux. Les différences d'état, sous le rapport de l'entretien des diverses parties d'une route, sont assez visibles pour qu'on puisse en juger à la vue, et quand les circonstances générales et habituelles de sécheresse ou d'humidité sont les mêmes, la résistance au roulement observée sur des étendues suffisantes est aussi sensiblement la même.

49. *Observations sur les limites entre lesquelles la loi a été observée.* — De l'ensemble de toutes les expériences de 1839 et 1840, réunies à celles de 1838, on doit donc conclure, pour les cas expérimentés, une vérification suffisamment exacte pour la pratique de la loi de Coulomb, en vertu de laquelle la résistance au roulement est inversement proportionnelle au rayon des roues.

Je dois faire remarquer, néanmoins, que cette loi expérimentale, ainsi vérifiée entre des limites qui comprennent à peu près toutes les dimensions de roues en usage, peut fort bien ne pas être une loi mathématique et n'être qu'une sorte d'approximation plus particulièrement relative aux routes solides sur lesquelles les roues ne laissent que de faibles empreintes. Il se pourrait ainsi qu'avec des roues de dimensions beaucoup plus petites ou beaucoup plus grandes, ou sur des terrains plus compressibles, on obtînt des résultats différents et une loi moins simple, ainsi que l'a trouvé M. Piovert; mais celle-ci peut suffire pour la pratique et les calculs les plus usuels.

50. *Observation sur le tirage dans les montées et sur l'influence de l'écartement des trains.* — Il faut observer, dans les applications, que l'avantage des roues d'un grand diamètre n'a pour effet que de diminuer la résistance provenant du sol, et n'a aucune influence sur celle que la gravité occasionne dans les montées. Celle-ci est, en effet, la composante du poids à transporter dans le sens du plan de la route, et par conséquent tout à fait indépendante du diamètre de la roue. Il suit de là que, si, dans les pays de plaine, on augmentait la charge autant que le permettent les diamètres des roues, l'effort

que le cheval devrait exercer dans les montées pourrait se trouver excessif, attendu qu'il se composerait 1° d'une fraction constante du poids total, uniquement dépendante de la pente, et 2° de la résistance du sol, seule quantité qui diminue quand le diamètre augmente.

Mais l'avantage d'obtenir un tirage moindre en pays de plaine n'en est pas moins fort réel, puisqu'il permet de ménager les chevaux dans les parties horizontales et de conserver ainsi tous leurs moyens pour les montées.

Il faut aussi remarquer que, pour les voitures à quatre roues inégales, la répartition de la charge a une influence notable sur l'intensité du tirage, car il est évident que plus la portion de cette charge qui sera supportée par l'essieu de derrière, qui porte les grandes roues, sera considérable, plus le tirage diminuera. C'est ce que savent fort bien les voituriers, qui ont toujours soin de charger plus cet essieu que celui de devant. Il y a même certaines voitures à quatre roues, telles que les triqueballes de l'artillerie, dont l'avant-train ne sert uniquement qu'à faciliter la conduite de la voiture, mais point du tout à supporter le fardeau, et ces voitures agissent alors sur les routes comme des charrettes.

Cette observation montre que, bien qu'en règle générale, si la charge restait également répartie sur les deux trains, l'écartement du timon ne pût avoir aucune influence sur le tirage en terrain uni, il n'en est pas moins vrai que le rapprochement des deux essieux a généralement pour effet de rendre les voitures plus roulantes. Il arrive en effet, par cette disposition, que, la charge totale et la longueur de la caisse ou du corps de la voiture étant données, le train de derrière se trouve engagé sous cette charge et en porte une proportion beaucoup plus grande que celui de devant, ce qui tend à diminuer le tirage. C'est ainsi que dans les diligences, et surtout dans les omnibus, les roues de derrière supportent souvent une proportion de la charge beaucoup plus considérable que celle qui serait indiquée par le rapport des rayons des roues.

Ces réflexions justifient l'expression impropre dont se servent ordinairement les carrossiers en disant que les voitures courtes ont plus de *chasse* que les voitures longues. Mais il faut ajouter aussi que le rapprochement des trains, diminuant la flexibilité de la flèche qui les unit, rend les voitures plus versantes.

81. *Observation sur l'influence de l'état des essieux et des boîtes des roues sur le tirage.* — Tous les résultats d'expériences que j'ai rapportés dans les tableaux précédents ont été obtenus avec des essieux en bon état et des boîtes neuves ou à peu près, d'un diamètre fort peu supérieur à celui des fusées, et avec des roues en très bon état. Ces conditions sont nécessaires

pour que les résultats soient comparables, et quand elles ne sont pas satisfaites, on obtient un tirage beaucoup plus fort pour les voitures où ces parties sont en mauvais état. J'en ai eu plusieurs exemples frappants en 1839, et je crois utile de les rapporter ici pour qu'ils puissent servir à éclairer la question.

Les trois porte-corps dont je me suis servi étaient neufs, ou à très peu près, quand je les ai tirés de l'arsenal de Vincennes. Les fusées des essieux et les boîtes étaient en bon état. Les roues, fabriquées exprès aux ateliers des Messageries Générales, étaient neuves et solides. Toutefois, les grandes roues de $2^{m},029$ avaient des rais trop faibles, et, lorsqu'on les cercla, le retrait du fer fit fléchir ces rais et leur donna trop d'écuanteur; ce qui est regardé par les constructeurs comme un grave inconvénient (1). De plus, la voie des voitures montées sur ces roues, qui devait être égale à celle des autres voitures, devint plus grande de $0^{m},10$ environ. Malgré ce défaut, tant que les roues furent neuves, et avant qu'elles fussent fatiguées par de nombreux passages sous de fortes charges, les résultats des expériences sur le tirage confirmèrent les lois que j'avais trouvées à Metz, en 1838, avec des roues de triqueballe en bon état et bien construites. Mais après un service continu de plus de six semaines, et sous des charges de plus de 4930^{k}, les rais se fléchirent de plus en plus, et, la résultante de la réaction du sol passant de plus en plus près du bout du moyeu, les boîtes s'usèrent vers l'extrémité, prirent du jeu, et ne portèrent plus sur l'essieu que par deux points, l'un au dessous, près du bout, l'autre au dessus, près du corps d'essieu. Dès lors, quelque soin que l'on prît de graisser ces essieux, les points frottants soumis à une pression trop considérable ne purent conserver la graisse, et passèrent toujours à un état très peu onctueux, pour lequel le rapport du frottement à la pression devint 0,20 à 0,25 au moins; et il arrivait parfois que l'extrémité frottait si fort contre la rondelle du bout d'essieu, qu'elle se rodait et formait de la limaille. A partir de cette époque, ces roues, placées dans les mêmes circonstances avec le même chargement, sur la même route, donnèrent toujours, avec le même dynamomètre, des tirages plus forts que par le passé.

Les roues de $1^{m},453$ et celles de $0^{m},872$, beaucoup plus solides, n'éprouvèrent jamais ces inconvénients pendant toute la durée des expériences, et elles

(1) « Ecuanteur, inclinaison des rais d'une roue sur son moyeu. Comme l'opération de châtrer une roue augmente l'écuanteur, la voie de la voiture change, d'où résulte plus de fatigue et une plus prompte destruction » *Aide-Mémoire de Gassendi*, t. 1er, table des matières.

continuèrent à conserver l'enduit ; de sorte qu'il suffisait de les graisser une fois par semaine pour qu'elles le fussent convenablement pour leur service habituel.

J'avais déjà remarqué des effets analogues en 1838, sur des roues que j'avais montées sur les essieux d'un chariot des Messageries Générales dont les boîtes étaient usées, et qui, dans leur mouvement, produisaient un frottement d'épaulement si considérable que j'en fus averti par le bruit qui en résultait.

Ces observations montrent combien il est nécessaire d'apporter dans des expériences de ce genre la plus grande attention à l'état des boîtes et des essieux, si l'on veut obtenir des résultats comparables entre eux.

52. *Observations sur l'influence de l'état des roues sur le tirage.* — Outre l'influence que peut excercer sur le tirage le jeu de l'essieu dans la boîte et l'inclinaison de celle-ci, il faut avoir égard à l'état des assemblages des diverses parties de la roue. En effet, l'état des roues exerce une influence notable sur l'intensité du tirage. On conçoit en effet que, si l'on faisait rouler un corps mou sur une route, les différentes parties du corps mobile venant successivement se comprimer sur le sol, pendant le contact, et ne reprenant leur forme que lentement ou imparfaitement, le travail consommé pour produire cette compression n'étant restitué, soit en partie, soit en totalité, par le débandement lent et incomplet des parties comprimées, qu'après le passage du corps roulant, il en résulterait une consommation de travail moteur particulière à cette cause. Nous avons déjà eu lieu de parler de ces effets à l'occasion des expériences faites sur l'impression des rouleaux dans le caoutchouc, n° 6.

Or une roue en mauvais état, dont les assemblages sont fatigués, dont les rais jouent dans les mortaises de la patte ou de la broche, ne forme plus un corps suffisamment rigide et élastique pour que la restitution du travail employé à la déformer se fasse aussi parfaitement et aussi promptement que dans une roue en bon état, qui, par la nature de sa construction, peut, entre les limites de compression qu'elle éprouve, être regardée comme un corps parfaitement élastique.

Par conséquent le tirage des voitures qui ont des roues en mauvais état, ayant, en terme de charronnage, besoin d'être *châtrées*, doit être plus grand que si les roues étaient solides et en bon état.

Pour vérifier ces considérations directes, j'ai fait des expériences sur un omnibus en fort mauvais état et destiné à être démoli, dont les roues étaient très fatiguées et disjointes.

Les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant $2r'$	Diamètre des roues de derrière. $2r''$	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P"	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouven
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k			m.	
1	1	Route royale n. 192, de Courbevoie à Bezons, pavée, en bon état, sèche.	Omnibus.	300	4	0,926	1,298	0,060	2167	926	926	2	Pas.	1,66	Aller.
	2													1,60	Retour.
	3													1,62	Aller.
	4													1,56	Retour.
	5													1,55	Aller.
	6													1,65	Retour.
2	1												Trot	3,90	Aller.
	2													3,79	Retour.
	3													3,73	Aller.
	4													3,53	Retour.
3	1	Même route.	Omnibus.	300	4	0,926	1,298	0,060	3270	1477	1477	2	Pas.	1,40	Aller.
	2													1,42	Retour.
	3													1,41	Aller.
	4													1,40	Retour.
	5													1,39	Aller.
	6													1,32	Retour.
	7													1,32	Aller.
	8													1,32	Retour.
	9													1,26	Aller.
	10													1,30	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
30,5	55,1	$\frac{1}{39,0}$	6,2	48,9	0,0122	$p'=140$ kil. $p''=175$ kil.	
33,0	59,7	$\frac{1}{36,3}$	6,2	53,5	0,0134	$\frac{P_1'}{r'}=2302.$	
33,4	60,7	$\frac{1}{35,7}$	6,2	54,5	0,0136	$\frac{P_1''}{r''}=1692.$	
33,8	61,2	$\frac{1}{35,4}$	6,2	55,0	0,0138	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3999.$	
35,0	63,3	$\frac{1}{34,2}$	6,2	57,5	0,0143	$\frac{f\rho'}{r'}=0,0039.$	
34,5	62,5	$\frac{1}{34,7}$	6,2	56,3	0,0141		
	Moyenne	$\frac{1}{36}$			0,0136	$\frac{f\rho''}{r''}=0,00279.$	
42,8	77,6	$\frac{1}{28,0}$	6,2	71,4	0,0178	Dynamomètre à compteur ; lames de 600 kil.	
40,0	72,5	$\frac{1}{29,9}$	6,2	66,3	0,0166	FE = 543 N.	
40,0	72,5	$\frac{1}{29,9}$	6,2	66,3	0,0166		
40,4	73,5	$\frac{1}{29,5}$	6,2	67,3	0,0168		
	Moyenne	$\frac{1}{29,3}$			0,0170		
»	82,3	$\frac{1}{39,7}$	9,7	72,6	0,0120		
»	79,8	$\frac{1}{41,0}$	9,7	70,1	0,0116		
»	87,3	$\frac{1}{37,5}$	9,7	67,6	0,0112		
»	85,6	$\frac{1}{38,2}$	9,7	76,9	0,0127	$\frac{P_1'}{r'}=3492.$	
»	79,8	$\frac{1}{41,0}$	9,7	70,1	0,0116	$\frac{P_1''}{r''}=2545.$	
»	85,8	$\frac{1}{38,1}$	9,7	76,1	0,0126		
»	84,3	$\frac{1}{38,7}$	9,7	74,6	0,0124	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6037.$	
»	86,6	$\frac{1}{37,7}$	9,7	76,9	0,0127		
»	85,8	$\frac{1}{38,1}$	9,7	75,1	0,0125	Dynamomètre à styles ; lames de 300 kil.	
»	88,8	$\frac{1}{36,8}$	9,7	79,1	0,0131		
	Moyenne	$\frac{1}{39,7}$			0,0122		

53. *Conséquences des résultats précédents.* — L'examen des résultats consignés dans ce tableau, et dont une partie a été répétée avec le dynamomètre à styles et le dynamomètre à compteur, montre d'une manière évidente que la valeur du coëfficient A, qui, sur le pavé sec, avec des voitures en bon état, et par plusieurs séries d'expériences, a été trouvé moyennement égal à 0,0091 (nº 44), acquiert ici la valeur A = 0,0122 à 0,0136 avec l'omnibus dont les roues étaient en mauvais état.

Ces résultats prouvent qu'il est nécessaire de proportionner convenablement les roues des voitures au chargement qu'elles doivent porter, et que c'est fort mal à propos que certains constructeurs achètent la légèreté aux dépens de la solidité, l'avantage qu'ils croient y trouver, sous le rapport du tirage, étant bientôt remplacé par le défaut contraire, dès que la roue a marché quelque temps et est fatiguée.

On voit aussi combien il est utile de châtrer les roues dès que les assemblages ont commencé à prendre du jeu. Sous ce rapport, les roues à moyeux en fonte et à double rang de rais, sans empattements, et qui peuvent se resserrer sans le secours du charron, proposées par M. Arnous, ancien élève de l'École polytechnique, me semblent un perfectionnement dans cette partie principale des voitures.

54. *Application aux voitures et aux routes ordinaires.* — En résumé, l'on voit que, sur les routes ordinaires en empierrement solide et sur le pavé, on obtiendra la valeur de la résistance d'une voiture en terrain horizontal en fonction de la pression et du diamètre des roues, avec une approximation suffisante pour la pratique, par la formule

$$T = (A + f\rho)\frac{P}{r} + A\cdot\frac{p}{r}$$

pour les voitures à deux roues, et pour les voitures à quatre roues par la formule

$$T = (A + f\rho)\left(\frac{P'}{r'} + \frac{P''}{r''}\right) + A\left(\frac{p'}{r'} + \frac{p''}{r''}\right),$$

dans lesquelles, outre les notations précédentes, T représente l'effort total de traction que les chevaux doivent exercer parallèlement au sol pour vaincre la résistance de ce sol et le frottement des essieux, les rayons ρ des boîtes de roues étant supposés les mêmes pour les deux trains.

55. *Rapport du tirage à la charge pour les voitures à quatre roues.* — Avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer qu'il résulte de cette formule que, pour rendre le même le tirage des deux trains, il faut répartir la charge de manière que l'on ait

$$\frac{P' + p'}{r'} = \frac{P'' + p''}{r''}.$$

Mais, si l'on observe que les dimensions des jantes sont ordinairement les mêmes pour les deux trains, on a, à très peu près, $\frac{p'}{r'}=\frac{p''}{r''}$, et la condition ci-dessus se réduit à

$$\frac{P'}{r'}=\frac{P''}{r''},$$

et comme on a aussi, d'après la notation, $P'+P''=P$, en combinant ces relations avec l'expression de la résistance totale au tirage des voitures à quatre roues, que nous désignons par T, elle devient pour ce cas et sur un terrain horizontal

$$T=(A+f\rho)\left(\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}\right)+A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right)=(A+f\rho)\frac{2P'}{r'}+A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right)=$$
$$(A+f\rho)\frac{2P}{r'+r''}+A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right),$$

attendu qu'on a, à peu près,

$$\frac{P'}{r'}=\frac{P''}{r''}=\frac{P}{r'+r''}.$$

Si l'on veut chercher le rapport de cette résistance totale à la charge totale, $P+p'+p''=P_1$, pour un terrain et une valeur de A donnés, on a

$$\frac{T}{P_1}=\frac{A+f\rho}{r'+r''}\cdot\frac{2P}{P_1}+\frac{A\left(\frac{p'}{r'}+\frac{p''}{r''}\right)}{P_1}.$$

Dans les applications aux voitures pesamment chargées, qu'il est le plus important de considérer, le poids des roues n'est qu'une fraction assez petite de la charge et du poids propre du corps de la voiture, et peut être négligé vis-à-vis de la charge totale, ce qui réduit ce rapport à

$$\frac{T}{P_1}=\frac{2(A+f\rho)}{r'+r''}.$$

Cette expression, qui, pour les charrettes, se réduit à

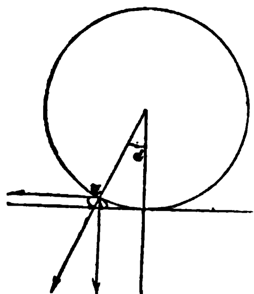
$$\frac{T}{P_1}=\frac{A+f\rho}{r},$$

fait voir que, dans le cas de la répartition supposée de la charge, le rapport du tirage à cette charge décroît avec A, f et ρ, et en raison inverse de la somme des rayons; et nous nous bornerons, pour le moment, à faire remarquer combien l'industrie des transports a d'intérêt à augmenter autant que possible le diamètre des roues, à ne donner aux essieux que les dimensions suffisantes pour la solidité, et pour cela à n'employer que des fers de première qualité, et à se servir de boîtes bien ajustées sur les fusées, qui conservent la graisse pendant la marche.

Nous comparerons plus tard les diverses voitures sous le rapport précédent,

en admettant que, pour celles dont les roues ont des rayons différents, la charge soit répartie comme nous l'avons supposé ci-dessus.

56. *De l'influence du diamètre des roues sur la dégradation des routes.* — Mais, s'il convient, d'après ce qui précède, dans la construction des voitures, de donner aux roues le plus grand diamètre possible pour diminuer le tirage, il en est encore de même sous le rapport de la dégradation des routes, ainsi que le montrent les observations directes suivantes et le raisonnement.



Lorsqu'une roue en mouvement sur un sol horizontal rencontre un obstacle a, l'effort, normal aux surfaces de contact, qu'elle exerce sur ce corps, se décompose en deux autres : l'un parallèle au sol, et qui tend à pousser le corps en avant en le faisant glisser ; l'autre, normal au sol, et en vertu duquel le corps pénètre dans le terrain plus ou moins compressible, comme le sont les routes en empierrement ordinaire.

Si le sol était assez solide pour que la compression n'y fût pas sensible, le corps a, retenu en place par le frottement qui se produit par suite de la pression, ne glisserait que quand la composante horizontale serait supérieure au frottement.

Mais, sur les routes ordinaires, le glissement des obstacles se produit avant que l'angle α ait acquis la limite indiquée par cette égalité, attendu que, le sol cédant à la pression normale, l'obstacle, ordinairement offert par un caillou arrondi, s'enfonce un peu, et tend à glisser suivant le plan ou la surface inclinée qu'il forme par sa partie postérieure, et à pousser, en la désagrégeant, la portion du sol qui est en avant de sa partie antérieure.

Cet effet destructeur, que la roue tend à produire quand elle rencontre un obstacle, croît d'ailleurs avec l'angle α, et est, par conséquent, d'autant plus sensible que le diamètre de la roue est plus petit et l'obstacle plus gros.

Le raisonnement qui précède s'applique également aux effets produits par une roue sur un sol uni qu'elle comprime, en s'y enfonçant : car il est évident que chacun des éléments qu'elle presse, en exerçant sur lui une action dirigée suivant le rayon, peut être considéré comme sollicité par deux forces, l'une qui tend à le pousser en avant et par conséquent à désagréger les parties antérieures du sol, l'autre qui le presse, pour l'enfoncer au niveau du bas de la roue. Et il est encore évident ici que la composante qui tend à désagréger le sol sera d'autant plus grande que le rayon de la roue sera plus petit.

57. *Expériences sur le mode d'action des roues sur les routes.* — Ces con-

sidérations directes sont pleinement confirmées par l'observation, ainsi que le montrent les expériences suivantes. On a pris, sur la route de Nancy et dans les tas de matériaux destinés à son entretien, des cailloux de $0^m,020$ à $0^m,022$, de $0^m,025$ à $0^m,030$, de $0^m,045$ à $0^m,050$, et on les a placés sur la piste d'une diligence des messageries générales, pesant en tout 4402 kilogrammes, en les mettant successivement en avant des petites ou des grandes roues, et l'on a constamment observé les faits suivants :

Les cailloux de $0^m,020$ à $0^m,022$ de grosseur, placés sur une partie solide, mais un peu compressible, de la route, ont tous été cassés par l'une et par l'autre roue, et enfoncés dans le sol, sans avoir été déplacés.

Parmi les cailloux de $0^m,025$ à $0^m,030$ en quartz, un quart ou un cinquième seulement a été cassé, et tous ceux qui avaient été placés devant les petites roues ont été déplacés et poussés en avant de $0^m,020$ à $0^m,050$, tandis que ceux qui avaient été mis devant les grandes n'ont pas changé de place.

Les cailloux en quartz ou en porphyre de $0^m,045$ à $0^m,050$ n'ont pas été brisés sous cette charge, et tous ceux qui étaient devant les roues de devant ont été poussés en avant de $0^m,050$ à $0^m,100$, et, en avançant ainsi, tout en s'enfonçant partiellement dans le sol, ils ont désagrégé en avant d'eux une étendue de terrain de $0^m,10$ à $0^m,15$ de rayon. Au contraire, les cailloux placés devant les grandes roues ont été simplement enfoncés en partie dans le sol, et la voiture a passé par dessus, sans les faire glisser en avant.

Les mêmes observations ont été répétées sur la partie la plus solide et le mieux entretenue de la route. Les cailloux roulés de porphyre, de granit, de quartz, de $0^m,025$ à $0^m,030$ de grosseur, ont été presque tous broyés par le passage de la voiture; ceux qu'elle n'avait pas brisés n'étaient poussés en avant que quand ils étaient placés devant les petites roues. Les cailloux de $0^m,045$ à $0^m,050$, en granit ou en porphyre roulés, ont été tous brisés; ceux de quartz l'ont été très souvent. Tous ceux qui étaient devant les petites roues ont toujours été poussés en avant, tandis que ceux qui étaient devant les grandes roues ne l'ont presque jamais été.

Il résulte de ces observations, qui ont été répétées à plusieurs reprises en présence des ingénieurs des ponts et chaussées du département de la Moselle, et depuis à Courbevoie, une confirmation complète des considérations directes du n° 56, et l'on doit, en conséquence, regarder comme établi à la fois par le raisonnement et par l'expérience que

Les effets de dégradation par désagrégation produits par les roues des voitures sont d'autant plus grands que les diamètres sont plus petits.

Si, de plus, on remarque que, quand une roue marche sur une route, la somme des composantes horizontales, exercées sur tous les éléments du sol

pour le désagréger, est égale et contraire à la résistance même que le moteur doit vaincre, ou à l'effort qu'il doit transmettre à l'essieu pour vaincre la résistance du sol, on en conclura que, sur les terrains homogènes, *l'effort exercé par une roue pour désagréger une route ou la détériorer doit être aussi à peu près en raison inverse de son diamètre.*

Ainsi, sous le rapport de la conservation des routes, comme sous celui de la diminution du tirage, il est d'une grande importance d'employer des roues du plus grand diamètre possible. L'intérêt public et l'intérêt particulier sont donc ici d'accord.

58. *Distinction importante entre l'influence du diamètre sur l'impression produite par les roues sur les routes et les effets de désagrégation.* — Plusieurs auteurs, au nombre desquels il faut citer De Camus, gentilhomme lorrain, qui écrivait en 1722, et des ingénieurs dont les travaux sont plus récents, avaient déjà fait remarquer que, la profondeur d'impression étant plus considérable avec les petites roues qu'avec les grandes, il était convenable, dans l'intérêt de la conservation des routes, d'employer des roues d'un grand diamètre. Mais ce n'est pas tant, je pense, par la profondeur plus ou moins notable de l'impression qu'elles produisent, que les petites roues dégradent les routes solides, que par les effets de désagrégation qu'elles y occasionnent, et qui, je crois, n'avaient pas été assez appréciés avant l'époque où je publiai pour la première fois les considérations précédentes. On verra par la suite l'exactitude de ces considérations confirmée d'une manière bien remarquable par les résultats des expériences directes sur la dégradation des routes par les voitures.

EXPÉRIENCES SUR L'INFLUENCE DE LA LARGEUR DES JANTES.

59. Ainsi qu'on l'a vu au n° 28, on a employé, pour reconnaître l'influence de la largeur des jantes, l'appareil avec arbre en fonte, que l'on chargeait de disques de $0^m,045$ d'épaisseur, joints les uns contre les autres de manière à former des jantes de diverses largeurs. Ces expériences ont été faites sur des sols de diverses natures, et dont la compressibilité a varié entre des limites qui comprennent à peu près tous les cas de la pratique. Elles ont été ensuite répétées en 1839, sur des routes de différentes natures, avec des voitures dont les jantes avaient des largeurs de $0^m,175$, $0^m,115$ et $0^m,060$.

Je dois dire qu'à l'époque où ces expériences ont été faites, j'avais vérifié sur des routes dures la loi de la proportionnalité de la résistance à la pression obtenue et admise par Coulomb, ainsi que par presque tous les ingénieurs qui ont écrit sur la matière. Ce n'est qu'en 1841 que, les expériences rappor-

tées au n° 8 m'ayant montré que sur les corps compressibles dont l'élasticité est altérée par la pression cette loi n'était plus vraie, j'ai vu qu'il eût été indispensable d'opérer sur les corps mous et compressibles, tels que le sol du polygone de Metz et celui du hangar de manœuvres de l'Ecole d'application, à des pressions toujours les mêmes, en étudiant l'influence de la largeur. Je n'ai pu le faire que dans quelques cas, et non dans tous; et, tout en le regrettant, je n'en pense pas moins que les expériences suivantes sont propres à jeter du jour sur la question, et que les conclusions que j'en ai déduites sont fort voisines de la vérité. L'observation précédente ne s'applique pas d'ailleurs aux routes pavées ou en empierrement solide, pour lesquelles on a vu, au n° 39, que la résistance est sensiblement proportionnelle à la pression, et toutes les conclusions relatives à l'influence de la largeur, dans ces cas importants, se trouvent bien établies.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE ou appareil employé.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE des roues. 2r	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P+p	PRESSION sur les essieux p	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m.	m.	m.	k.	k.		
1 2 3 4	Sol de la salle de manœuvres de l'école d'application de l'artillerie et du génie à Metz, nouvt rechargé de sable mêlé de gravier, sur une épaisseur de 0m,12 à 0m,15.	Appareil avec arbre en fonte décrit au no 24.	32	0,787	0,045	1045,6	115,2	2	Pas
5 6 7	Idem.	Idem.	32	0,787	0,090	1335,0	115,2	2	Pas
8 9 10 11 12	Idem.	Idem.	32	0,787	0,135	1441,1	115,2	2	Pas
13 14 15 16 17 18	Idem.	Idem.	32	0,787	0,185	1380,0	115,2	2	Pas
19 20 21 22 23 24	Idem.	Idem.	32	0,787	0,225	1664,5	115,2	2	Pas

VITESSE	PENTE du terrain par mètre courant $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallélem^t au plan de la route	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.	k.	k.	k.			
		247,5		247,5	0,0931	$R = 0,967 F.$ $\frac{h}{L} = 0.$	
1,40	»	261,0	»	261,0	0,0982	$\frac{P+p}{r} = 2657.$	Pl. I, fig. 3.
		244,5		244,5	0,0920		
		258,0		258,0	0,0971		
				Moyenne	0,0931		
		265,0		265,0	0,0781	$\frac{P+p}{r} = 3392.$	
1,40	»	267,0	»	267,0	0,0787		
		270,0		270,0	0,0796		
				Moyenne	0,0788		
		279,5		279,5	0,0763	$\frac{P+p}{r} = 3662.$	
		231,0		261,0	0,0713		
1,40	»	274,0	»	274,0	0,0748		
		265,0		265,0	0,0724		
		274,0		274,0	0,0748		
				Moyenne	0,0739		
		218,5		218,5	0,0623		
		230,0		230,0	0,0656		
		216,0		216,0	0,0616		
1,40	»	223,0	»	223,0	0,0636	$\frac{P+p}{r} = 3507.$	
		219,5		219,5	0,0626		
		221,0		221,0	0,0630		
				Moyenne	0,0632		
		255,0		255,0	0,0602		
		262,0		262,0	0,0620		
		268,5		268,5	0,0635		
1,40	»	258,0	»	258,0	0,0610	$\frac{P+p}{r} = 4230.$	
		255,0		255,0	0,0602		
		257,5		257,5	0,0608		
				Moyenne	0,0612		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE ou appareil employé.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE des roues. $2r$	LARGEUR de jantes.	PRESSION sur le sol $P+p$	PRESSION sur les essieux p	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m.	m.	m.	k.	k.		
25 26 27 28 29 30	Sol du polygone de Metz, devant les batteries de siége, gazon humide et un peu mou.	Appareil avec arbre en fonte décrit au nº 24.	150	0,787	0,045	1042,0	115,2	4	Pas
31 32 33 34 35	Idem.	Idem.	150	0,787	0,090	1333,0	115,2	4	Pas
36 37 38 39 40	Idem.	Idem.	150	0,787	0,135	1447,5	115,2	4	Pas
41 42 43	Idem.	Idem.	150	0,787	0,280	1958,0	115,2	4	Pas
44 45	Sol de la cour de l'arsenal de Metz, gazon sec.	Idem.	40	0,787	0,090	1011,8	80,0	1	Pas
46 47	Idem.	Idem.	40	0,787	0,135	1025,7	80,0	1	Pas
48 49	Idem.	Idem.	40	0,787	0,260	1918,6	80,0	2	Pas

VITESSE	PENTE du terrain par mètre courant $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlem[t] au plan de la route	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.	k.	k.	k.			
		157,0		157,0	0,0593		
		170,0		170,0	0,0642	$R=0,967F.$	Pl. I, fig. 4.
		157,0		157,0	0,0593	$\frac{P+p}{r}=2648.$	
1,40	»	160,5	»	160,5	0,0604	$\frac{h}{L}=0.$	
		158,5		158,5	0,0598		
		158,5		158,5	0,0598		
				Moyenne	0,0604		
		215,5		215,5	0,0635		
		215,5		215,5	0,0635	$\frac{P+p}{r}=3392.$	
1,40	»	180,0	»	180,0	0,0531		Les séries d'expériences relatives aux largeurs de 0m,045, 0m,135 et 0m,180, ont été exécutées respectivem[t] les 10, 12 et 17 mai 1838, pendant lesquels le temps et l'état du sol n'a pas changé sensiblement, tandis que la série relative à la largeur de 0m,090 avait été exécutée le 3 mars, lorsque le sol était un peu plus humide; ce qui explique comment la résistance a pu être trouvée plus grande avec cette largeur qu'avec celle de 0m,045.
		215,0		215,0	0,0634		
		220,0		220,0	0,0648		
				Moyenne	0,0616		
		178,5		178,5	0,0485		
		172,0		172,0	0,0468	$\frac{P+p}{r}=3679.$	
1,40	»	172,8	»	172,8	0,0470		
		177,0		177,0	0,0481		
		197,5		197,5	0,0537		
				Moyenne	0,0488		
		212,0		212,0	0,0426	$\frac{P+p}{r}=4975.$	
1,40	»	196,0	»	196,0	0,0394		
		206,0		206,0	0,0414		
				Moyenne	0,0411	$R=0,967E\mp(P+p)\frac{h}{L}.$	Pl. I, fig. 4.
1,20	0,0003	78,7	0,3	78,4	0,0305	$\frac{P+p}{r}=2572.$	
1,24	—0,0003	84,6	—0,3	84,9	0,0330		
				Moyenne	0,0318		
1,11	0,0003	70,5	0,3	70,2	0,0269	$\frac{P+p}{r}=2606.$	
1,11	—0,0003	84,2	—0,3	84,5	0,0322		
				Moyenne	0,0295		
1,11	0,0003	125,7	0,3	125,4	0,0257	$\frac{P+p}{r}=4876.$	
0,97	—0,0003	119,0	—0,3	119,3	0,0243		
				Moyenne	0,0250		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE ou appareil employé.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE des roues. 2*r*	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P+*p*	PRESSION sur les essieux *p*	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m.	m	m.	k.	k.		
50 51 52	Sol du polygone de Metz devant les batter. de siége, gazon humide et un peu mou.	Même appareil avec roues de 12 de campagne.	40	1,482	0,074	2163,2	1959,2	2	Pas
53 54	Chemin qui conduit aux batteries de siége du polygone de Metz, humide, en empierrem. en bon etat.	Même appareil.	150	0,787	0,045	1042,0	115,0	2	Pas
55		Idem.	150	0,787	0,090	1335,0	115,0	2	Pas
56 57	Idem.	Idem.	150	0,787	0,135	1447,5	115,0	2	Pas
58 59	Idem.	Idem.	150	0,787	0,280	1958,2	115,0	2	Pas
60 61	Chemin en empierrement mal entretenu, couvert de 0m,05 à 0m,08 de boue très épaisse, adhérente aux roues, au polygone de Metz.	Chariot d'artillerie.	200	de devant 1,15 de derrière 1,584.	0,074	2746,0	de devant et de derrière 1207,5	4	Pas
62 63		Appareil avec arbre en fonte	200	0,787	0,280	1958,2	»	3	Pas
64	Route de la gorge du fort Belle-Croix, à Metz, en bon état, empierrem. uni, très peu de cailloux à fleur du sol sec, couv. d'un peu de poussière.	Même appareil.	50	0,787	0,090	1011,8	80,0	1	Pas
65			50						
66			40						
67			50						
68			50						
69 70 71 72 73	Idem.	Idem.	50	0,787	0,135	1549,57	80,0	2	Pas

VITESSE	PENTE du terrain par mètre courant $\frac{h}{L}$	EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.	k.	k.	k.			
1,32	»	109,8	»	109,8	0,0376	$R = 0,992\,F \mp (P+p)\frac{h}{L} - 0,00276P.$	
1,28	»	114,5	»	114,5	0,0392	$\frac{P+p}{r} = 2919.\ p = 204$ kil..	
1,92	»	113,5	»	113,5	0,0389		
				Moyenne	0,0385		
1,50	»	85,0	»	85,0	0,0321	$\frac{P+p}{r} = 2932.$	Pl. I, fig. 6.
1,50	»	86,5	»	86,5	0,0327		
				Moyenne	0,0324		
1,50	»	128,5	»	128,5	0,0379	$\frac{P+p}{r} = 3392.$	
1,50	»	123,3	»	123,3	0,0335	$\frac{P+p}{r} = 3679.$	
1,50	»	125,8	»	125,8	0,0342		
				Moyenne	0,0338		
1,50	»	154,0	»	154,0	0,0311	$\frac{P+p}{r} = 4975.$	
1,50	»	144,5	»	144,5	0,0290		
				Moyenne	0,0300		
1,48	»	207,0	»	207,0	0,0505	$\frac{\frac{1}{2}P+p'}{r'} + \frac{\frac{1}{2}P+p''}{r''} = 4110.$	Le frottement des essieux est déduit, attendu que dans la proportion du chargement des roues et des boîtes la résistance au roulement est de 0^m,972 de la traction horizontale totale.
1,53	»	180,0	»	180,0	0,0438	$p' = 142^k.\ p'' = 189^k.$	
				Moyenne	0,0470		
1,07	»	215,0	»	215,0	0,0432	$\frac{P+p}{r} = 4975.$	
1,04	»	215,0	»	215,0	0,0432		
				Moyenne	0,0432		
1,25	0,0044	34,5	4,1	30,4	0,0118		
1,19	0,0187	48,8	18,9	29,9	0,0116	$\frac{P+p}{r} = 2572.$	Pl. I, fig. 7.
1,16	0,0370	64,6	37,4	27,2	0,0106		
1,16	0,0344	64,0	34,5	29,5	0,0115		
1,19	0,0095	38,3	9,6	28,7	0,0112		
				Moyenne	0,0113		
1,11	0,00024	43,2	4,0	39,2	0,0100		
1,18	0,0371	91,1	57,5	33,6	0,0089	$\frac{P+p}{r} = 3938.$	
1,19	0,0400	50,3	14,7	35,6	0,0090		
1,43	0,0116	53,0	17,9	35,1	0,0089		
1,09	0,0017	39,7	2,6	37,1	0,0094		
				A reporter	......		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE ou appareil employé.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRE des roues. 2r	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P+p	PRESSION sur les essieux p	NOMBRE de chevaux.	ALLURE.
			m.	m.	m.	k.	k.		
74 75 76	Même chemin.	Même appareil.	50	0,787	0,135	1549,57	80	2	Pas
77 78 79 80 81 82	Idem.	Idem.	50	0,787	0,260	1918,6	80	1 1 2 1 1 1	Pas
83 84 85 86 87	Pavé en grès de Sierck du pont de l'Arsenal et de la rampe devant l'école d'artillerie.	Idem.	45 à 50	0,787	0,090	1011,8	80	2	Pas
88 89 90 91 92 93	Idem.	Idem.	45 à 50	0,787	0,135	1549,6	80	2	Pas
94 95 96 97	Idem.	Idem.	45 à 50	0,787	0,260	1918,6	80	2	Pas

VITESSE	PENTE du terrain par mètre courant $\frac{h}{L}$.	EFFORT exercé par le moteur parallélem^t au plan de la route	EFFORT employé à vaincre la gravité.	RÉSISTANCE au roulement R.	VALEUR du coefficient A.	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.		k.	k.	k.			
1,14	0,0187	62,5	29,0	33,3	0,0083		
1,21	0,0344	97,9	53,3	44,6	0,0113	$\frac{P+p}{r}=3938.$	
1,08	0,0344	91,6	53,3	38,3	0,0097		
				Moyenne	0,0094		
1,25	0,0024	52,3	0,5	51,8	0,0106		
1,25	0,0127	79,1	24,3	54,8	0,0112		
1,04	0,0370	111,7	70,9	40,8	0,0084	$R=0,967\,F\mp(P+p)\frac{h}{L}.$	
1,04	0,0316	110,0	60,6	49,4	0,0101	$\frac{P+p}{r}=4876.$	
1,16	0,0116	67,2	22,2	45,0	0,0092		
1,22	0,0024	42,9	0,5	43,4	0,0089		
				Moyenne	0,0097		
1,03	-0,0005	25,6	-0,5	26,1	0,0102		
1,14	0,0486	79,5	49,1	30,4	0,0119	$\frac{P+p}{r}=2572.$	
1,19	0,0383	61,1	38,7	22,3	0,0030		Pl. I, fig 8.
1,16	0,0486	75,4	49,1	26,3	0,0102		
1,19	0,0383	57,6	38,7	18,9	0,0074		
				Moyenne	0,0095		
1,04	-0,0005	36,9	-0,7	37,6	0,0096		
1,08	-0,0005	37,7	-0,7	38,4	0,0098		
1,05	0,0495	109,8	76,5	33,3	0,0085	$\frac{P+p}{r}=3938.$	
1,24	0,0495	115,0	76,5	38,5	0,0098		
1,30	0,0383	102,0	59,4	40,8	0,0104		L'excès de ces valeurs sur les précédentes provient de la vitesse comme on le verra plus loin.
1,19	0,0005	46,3	0,7	45,6	0,0110		
				Moyenne	0,0100		
1,04	0,0466	129,3	93,3	36,1	0,0073		
1,00	0,0370	107,3	73,4	33,9	0,0070	$\frac{P+p}{r}=4876.$	
0,98	0,0316	127,4	93,2	34,2	0,0070		
1,15	0,0116	57,6	0,9	56,7	0,0116		
				Moyenne	0,0082		

60. *Observations sur l'influence de la pression sur la résistance.*—On remarquera que, dans les expériences exécutées sur le sable et sur le sol mou du polygone, la pression a été sensiblement la même sur le sable pour les largeurs de $0^m,090$, $0^m,135$ et $0^m,165$, et sur la terre molle du polygone pour les largeurs de $0^m,090$ et $0^m,135$. Quant aux autres largeurs, malgré la précaution que l'on avait eue de faire couler des disques en fonte plus petits que ceux qui servaient de roues, il n'a pas été possible d'obtenir les mêmes poids pour les largeurs de $0^m,045$, de $0^m,225$ et $0^m,280$, et on a admis dans le calcul, comme loi approximative, que la résistance était encore, dans ce cas, proportionnelle à la pression.

61. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.*— Pour discuter les résultats consignés dans le tableau précédent, nous avons commencé par les représenter graphiquement en prenant les largeurs de jante pour abscisses, et les valeurs du coefficient A pour ordonnées. Dans la pl. II, la fig. 3, relative aux expériences faites sur le sol du hangar de manœuvres de l'Ecole d'application, recouvert d'une couche de sable mêlé de gravier fin, et la fig. 4, relative aux expériences faites sur le sol humide du polygone d'artillerie à Metz, nous montrent que la valeur du coefficient A, et, par suite, la résistance au roulement, croissent à mesure que la largeur de la jante diminue. Les ordonnées de la courbe, qui représente la loi de cette variation, augmentent rapidement lorsque la largeur de jante est au dessous de $0^m,045$, et cette courbe paraît avoir pour asymptote l'axe des ordonnées ou des valeurs de A, ce qui indiquerait une valeur infinie pour une largeur nulle. L'autre branche de la courbe paraît, au contraire, avoir pour asymptote soit l'axe des abscisses ou des largeurs, soit une parallèle à cet axe, ce qui indiquerait que la résistance se rapproche sans cesse d'une certaine valeur constante.

Le peu de variation qu'éprouve la valeur de A dans le sable ou dans la terre molle, à partir d'une largeur égale à $0^m,225$, montre que, pour les voitures destinées à des transports dans les terres grasses, dans les carrières où le sol est formé de décombres, dans les terrains sablonneux, etc., il n'y a pas d'avantage à dépasser cette limite de largeur. D'un autre côté, il paraît convenable de donner aux roues de ces voitures des jantes larges, puisque nous voyons, d'après ces tracés, que le coefficient A a pour valeur

	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Pour des largeurs de. .	0,045	0,090	0,0135	0,185	0,225	0,280
Dans le sable	0,0950	0,0788	0,0739	0,0632	0,0612	»
Dans la terre molle . .	0,0604	»	0,0488	»	»	0,0411

62. *Loi approximative de la variation de la résistance en fonction de la largeur.* Il paraît assez difficile de reconnaître la loi qui lie la largeur de la bande et les valeurs correspondantes du coefficient A ; mais, sans rechercher une formule d'interpolation qui, en représentant les résultats de l'expérience, donne $A = \infty$ pour $l = 0$, et A égale constante pour une valeur de l un peu plus grande que $l' = 0^m,280$, il est facile de voir qu'entre les limites de variation de largeur que présentent ordinairement les bandes de roues, c'est-à-dire depuis des largeurs de $0^m,090$ jusqu'à $0^m,225$ dans le sable, et de $0^m,090$ jusqu'à $0^m,280$ dans les terres molles, on peut substituer à la courbe une ligne droite, ce qui donne alors pour les valeurs de A un décroissement proportionnel à l'accroissement de la largeur de bande, de sorte que, pour ces deux séries d'expériences, les résultats obtenus entre les limites de largeur précédentes seraient représentées avec une exactitude suffisante par une formule de la forme

$$A = a + \alpha (l' - l)^{\text{kil}},$$

dans laquelle

a serait une constante égale à la valeur de A correspondante à la largeur supérieure l' des deux bandes,

l la largeur de la jante pour laquelle on veut déterminer la valeur de A,

α un coefficient constant égal à la tangente trigonométrique de l'inclinaison de la ligne droite substituée à la courbe.

On trouve ainsi, pour le sable mêlé de gravier (pl. II, fig. 3), sur une épaisseur de $0^m,12$ $0^m,15$, pour

$$l' = 0^m,225 \quad a = 0,0612 \quad \alpha = 0,128,$$

ce qui donne

$$A = 0,0612 + 0,128\,(0^m,225 - l),$$

et pour la terre molle du sol du polygone de Metz (pl. II, fig. 4), où l'on a

$$l' = 0^m,280 \quad a = 0^m,0411 \quad \alpha = 0,068,$$

$$A = 0,0411 + 0,068\,(0^m,280 - l).$$

Si l'on calcule par ces formules approximatives les valeurs du coefficient A correspondantes aux diverses largeurs, on trouve qu'elles représentent suffisamment bien les résultats de l'expérience, entre les limites ordinaires de largeur de bande des roues.

En effet, on a :

			m	m	m	m	m
Largeur de la bande de roue.			0,090	0,135	0,185	0,225	0,2 80
			k	k	k	k	k
Valeurs de A. . .	sable. . .	données par la courbe	0,0800	0,0710	0,0640	0,0612	»
		données par la formule	0,0775	0,0727	0,0663	0,0612	»
	terre molle	données par la courbe	0,0555	0,0499	0,0459	0,0450	0,0411
		données par la formule	0,0530	0,0502	0,0471	0,0446	0,0411

A mesure que le sol devient plus ferme, la loi de la proportionnalité du décroissement de la résistance à l'accroissement de la largeur paraît devenir de plus en plus approchée de l'exactitude, en même temps que l'influence de la largeur diminue.

En effet, on voit (Pl. II, fig. 5) que, pour le sol ferme, sec et couvert de gazon, de la cour de l'arsenal de Metz, on a

$$l' = 0^{m},260, \quad a = 0,0242, \quad \text{et} \quad \alpha = 0,0453,$$

et par suite

$$A = 0,0242 + 0,0453\,(0^{m},260 - l).$$

La comparaison des résultats de l'expérience avec ceux du calcul donne pour

		m.	m.	m.
Des largeurs de		0,090	0,135	0,260
		k.	k.	k.
Valeurs de A. . .	observées.	0,0311	0,0295	0,0242
	calculées.	0,0319	0,0299	0,0242

Sur le chemin du polygone de Metz, devant le corps de garde et l'école de pyrotechnie, en empierrement mal entretenu, couvert de boue épaisse de $0^{m},05$ à $0^{m},08$, continuellement fréquenté par des tombereaux chargés de gravier, mais à fond solide, on a trouvé (expériences 60 à 63) que, pour les largeurs de jante de $0^{m},074$ et de $0^{m},280$, la résistance n'a pas varié beaucoup, puisque la valeur moyenne de A, obtenue avec le chariot à munitions, est de 0,0470, tandis que l'appareil avec arbre en fonte et des jantes de $0^{m},280$ a donné $A = 0,0432$. La différence n'est que 0,0038. Ce chemin donnerait

$$a = 0,0432 \quad \text{pour} \quad l' = 0^{m},280, \quad \text{et} \quad \alpha = 0,0184.$$

$$A = 0,0432 + 0,0184\,(0^{m},280 - l)^{\text{kil}}.$$

Pour le chemin des batteries du polygone, formé d'un rechargement de gravier, fréquenté habituellement par des voitures peu chargées et par des gens

de pied, et par conséquent assez peu raffermi, l'influence de la largeur diminue encore (Pl. II, fig. 6), et l'on a pour

$$l' = 0^{m},280, \quad a = 0,0308, \quad \alpha = 0,0072,$$

et

$$A = 0,0308 + 0,0072\,(0^{m},280 - l)^{kil}.$$

La comparaison des résultats de l'expérience et de ceux du calcul donne

		m.	m.	m.
Largeurs de bande de.		0,045	0,135	0,280
		k.	k.	k.
Valeurs de A. . .	observées	0,0325	0,0315	0,0308
	calculées.	0,0325	0,0318	0,0308

Pour le chemin de la gorge du fort Belle-Croix, en empierrement de gravier, en bon état d'entretien, offrant quelques petits cailloux à fleur du sol, l'influence de la largeur des bandes diminue encore, comme on peut le voir par le tableau et par la fig. 7, et elle devient à peu près insensible.

On a en effet pour les

largeur de bande de	$0^{m},090$	$0^{m},135$	$0^{m},260$
les valeurs de A	$0^{m},0113$	$0^{m},0094$	$0^{m},0097$

qui diffèrent assez peu entre elles pour qu'on puisse regarder la valeur de A ou la résistance comme indépendante de la largeur de la bande.

Enfin, sur le pavé de Metz, la largeur de la jante est tout à fait sans influence, ainsi que le montre le tableau et la fig. 8, et comme il était facile de le prévoir *à priori*, puisque, ce sol étant très peu compressible, la roue, quelle que soit sa largeur, ne porte guère que sur deux ou trois points au plus. Il y a cependant des cas exceptionnels, comme celui du pavé de Paris et des roues très étroites : nous en parlerons plus tard.

63. *Expériences de* 1839 *sur l'influence de la largeur des jantes sur le tirage.* — J'ai répété en 1839 sur des voitures à quatre roues, de largeurs de jantes très différentes, une partie des expériences exécutées en 1838, et les résultats en sont consignés dans le tableau suivant :

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvem
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
1	1	Route départementale n° 8, en empierrement, sèche, balayée, quelques gouttes de pluie ayant humecté la poussière.	Porte-corps d'artillerie.	1075	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,30	Aller.
	2													1,34	Retour.
	3													1,35	Aller.
	4													1,35	Retour.
2	1	Idem.	Idem.	184	4	1,449	1,449	0,060	5516	2546	2546	4	Pas	1,45	Aller.
	2													1,39	Retour.
	3													1,39	Aller.
	4													1,38	Retour.
	5													1,29	Aller.
	6													1,23	Retour.
3	1	Même route légèrement humectée par une pluie fine de peu de durée	Idem.	388	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,27	Aller.
	2													1,18	Retour.
	3													1,30	Aller.
	4													1,32	Retour.
4	1	Route de Courbevoie à Colombes, conservant un peu d'humidité.	Idem.	200	4	1,438	1,438	0,175	3464	1260	1260	6	Pas	1,20	Aller.
	2													1,26	Retour.
	3													1,13	Aller.
	4													1,27	Retour
	5													1,27	Aller.
	6													1,25	Retour.
	7													1,34	Aller.
	8													1,30	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
252 / 292,5 } 272,25	125,5	$\frac{1}{55,6}$	20,8	104,7	0,0108	Dynamomètre à compteur de 600k. FE = 495,5N. $\frac{P_1}{r'}=9725$, $\frac{f\rho'}{r'}=0,00343$.	
250 / 277,5 } 263,7	124,4	$\frac{1}{56,2}$	20,8	103,6	0,0107	$p'=p''=472$ k.	
				Moyenne	0,0.07		
33,4 / 43,2 } 38,3	89,0	$\frac{1}{62}$	17,4	71,6	0,0094	Dynamomètre à compteur. FE = 427,5N.	
31,5 / 45,5 } 38,4	89,0	$\frac{1}{62}$	17,4	71,6	0,0094	$\frac{P_1}{r'}=7613$. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00341$.	
32,0 / 45,8 } 38,9	90,0	$\frac{1}{61,2}$	17,4	72,6	0,0095	$p'=p''=212$ k.	
				Moyenne	0,0094		
» / »	139 / 190 } 164,5	$\frac{1}{42,5}$	20,8	143,7	0,0148	$\frac{P_1}{r'}=9725$. Dynamomètre à styles.	
» / »	161 / 193 } 178,0	$\frac{1}{39,3}$	20,8	157,2	0,0162	$p'=p''=472$ k. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00343$.	
				Moyenne	0,0155		
37,2 / 33,2 } 35,2	87,0	$\frac{1}{39,7}$	8,6	78,4	0,0163	Dynamomètre à compteur de 600k. FE = 495,5N.	
36,0 / 30,0 } 33,0	81,8	$\frac{1}{42,3}$	8,6	73,2	0,0152	$\frac{P_1}{r'}=4814$.	
35,5 / 30,0 } 32,7	81,0	$\frac{1}{42,8}$	8,6	72,4	0,0150	$p'=p''=472$ kil. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00343$.	
33,5 / 32,0 } 32,7	81,0	$\frac{1}{42,8}$	8,6	72,4	0,0150		
				Moyenne	0,0154		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvement.
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
5	1	Route de Courbevoie à Colombes, un peu humide, sans boue.	Porte-corps d'artillerie.	200	4	1,449	1,449	0,060	5608	1592	1592	4	Pas	1,58	Aller.
	2													1,60	Retour.
	3													1,59	Aller.
	4													1,60	Retour.
	5													1,30	Aller.
	6													1,30	Retour.
	7													1,30	Aller.
	8													1,33	Retour.
6	1	Route départementale n. 8, de Courbevoie à Bezons, à peu près sèche, offrant quelques parties un peu humides	Idem.	184	4	1,438	1,438	0,175	5516	2286	2286	4	Pas	1,53	Aller.
	2													1,43	Retour.
	3													1,43	Aller.
	4													1,43	Retour.
	5													1,44	Aller.
	6													1,46	Retour.
	7													1,35	Aller.
	8													1,35	Retour.
7	1	Même route couverte de boue après le dégel, à la fin de mars.	Idem.	275	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,37	Aller.
	2													1,26	Retour.
	3													1,35	Aller.
	4													1,24	Retour.
8	1	Même route au même état.	Idem.	250	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,58	Aller.
	2			250										1,47	Retour.
	3	Idem.		250										1,56	Aller.
	4	Idem.		250										1,38	Retour.
	5	Même route, boue un peu plus épaisse.		1050										1,04	Aller.
	6			1050										1,05	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
47,0 38,6 } 42,8	91,5	$\frac{1}{39,3}$	10,9	80,6	0,0162	FE = 427,5 N. $\frac{P_{,}}{r'} = 4980$ $p' = p'' = 212$ kil. Dynamomètre à compteur de 600 kil. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00341$.	Partie libre de la route sur la trace du frayé, humide. Entre les traces du frayé sur une partie très unie un peu humide.
43,7 38,2 } 40,9	87,4	$\frac{1}{41,2}$	10,9	76,5	0,0154		
43,5 40,2 } 41,8	89,3	$\frac{1}{40,3}$	10,9	78,4	0,0157		
37,7 34,4 } 36,0	76,9	$\frac{1}{46,8}$	10,9	66,0	0,0133		
				Moyenne	0,0151		
36,0 50,8 } 43,4	116,8	$\frac{1}{47,4}$	17,4	99,4	0,0130	Dynamomètre à compteur. $\frac{P_{,}}{r'} = 7666$. FE = 495,5 N. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00343$.	
34,6 49,0 } 41,8	112,5	$\frac{1}{49}$	17,4	95,1	0,0124		
33,5 47,7 } 40,6	109,3	$\frac{1}{50,5}$	17,4	91,9	0,0120		
33,5 46,7 } 40,1	108,0	$\frac{1}{51,1}$	17,4	90,6	0,0118		
				Moyenne	0,0123		
143,5 207 } 175,25	316,0	$\frac{1}{22,2}$	20,8	295,2	0,0303	Dynamomètre à compteur. FE = 495,5 N. $\frac{P_{,}}{r'} = 9725$.	
140,4 206,5 } 173,4	313,0	$\frac{1}{22,3}$	20,8	292,2	0,0301		
				Moyenne	0,0302		
120,3 94,5 } 107,4	175,5	$\frac{1}{26,4}$	13,3	162,2	0,0257	Dynamomètre à compteur. FE = 408 N. $\frac{P_{,}}{r'} = 6323$. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00340$. $p' = p'' = 346$ kil.	
123,2 91,3 } 107,2	175,0	$\frac{1}{26,4}$	13,3	161,5	0,0253		
429,5 521,5 } 475,5	185,0	$\frac{1}{24,9}$	13,3	171,7	0,0272		
				Moyenne	0,0261		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière. 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P₁	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvᵗ
						m.	m.	m.	k.	ʞk.	k.			m.	
9	1	Route dép. n. 132, de Courbevoie à Colombes, en empierr. sèche, en bon état, couv. d'un peu de poussière, en quelques endroits humide; il avait été fait, un mois avant, des emplois de matér. pour répar.	Porte-corps d'artillerie.	1092	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,38	Aller.
	2			1092										1,37	Retour.
	3			1042										1,21	Aller.
	4			1042										1,22	Retour.
	5			1042										1,17	Aller.
	6			1042										1,18	Retour.
10	1	Même route au même état, couverte d'un peu plus de poussière.	Porte-corps d'artillerie.	1042	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,15	Aller.
	2													1,06	Retour.
	3													1,11	Aller.
	4													1,11	Retour.
	5													1,13	Aller.
	6													1,02	Retour.
11	1	Idem.	Idem.	1042	4	1,438	1,438	0,175	6140	2598	2598	6	Pas	1,88	Aller.
	2													1,15	Retour.
	3													1,25	Aller.
	4													0,90	Retour.
	5													0,88	Aller.
	6													1,25	Retour.
12	1	Idem.	Idem.	1042	4	1,438	1,438	0,175	6140	2598	2598	4	Pas	1,25	Aller.
	2													1,25	Retour.
	3													1,10	Aller.
	4													1,16	Retour.
	5													1,19	Aller.
	6													1,16	Retour.
	7													1,15	Aller.
	8													1,17	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
250 282 } 266	99,3	$\frac{1}{46,2}$	13,3	86,0	0,0136		
251,5 289,6 } 261,5	102,4	$\frac{1}{44,8}$	13,3	89,1	0,0141	Dynamomètre à compteur. $\frac{P_1}{r'}=6323$. FE=407,7N.	
239,5 290,0 } 264,5	103,3	$\frac{1}{44,4}$	13,3	90,0	0,0142		
				Moyenne	0,0140		
344,6 403,3 } 373,9	177,0	$\frac{1}{39,5}$	20,8	156,2	0,0161		
340,0 410,0 } 375	178,3	$\frac{1}{39,3}$	20,8	157,5	0,0162	Dynamomètre à compteur. $\frac{P_1}{r'}=9723$. FE=495,5N.	
357 422 } 389,5	185,2	$\frac{1}{38}$	20,8	164,4	0,0169		
				Moyenne	0,0164		
» »	152 149 } 151,5	$\frac{1}{40,5}$	17,9	133,6	0,0157		
» »	162 147,9 } 154,9	$\frac{1}{38,5}$	17,9	137,0	0,0161	Dynamomètre à styles de 300 kil. $\frac{P_1}{r'}=8539$.	
» »	166,5 160 } 163,2	$\frac{1}{37,6}$	17,9	145,3	0,0171		
				Moyenne	0,0163		
307,3 358,5 } 332,9	158,3	$\frac{1}{39}$	17,9	140,4	0,0165		
282,8 360,5 } 321,7	153,0	$\frac{1}{40,2}$	17,9	135,1	0,0159	Dynamomètre à compteur. FE=495,5N. $\frac{P_1}{r'}=8539$.	
286,0 372,6 } 329,3	156,6	$\frac{1}{39,4}$	17,9	138,7	0,0163		
304,0 374,7 } 337,3	160,4	$\frac{1}{38,4}$	17,9	142,5	0,0167		
				Moyenne	0,0163		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant $2r'$	Diamètre des roues de derrière. $2r''$	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
13	1	Même route au même état.	Porte-corps d'artillerie.	1042	4	1,438	1,438	0,175	4580	1818	1818	4	Pas	1,28	Aller.
	2													1,25	Retour.
	3													1,28	Aller.
	4													1,17	Retour.
14	1	Accotement en terre de la route royale n. 192, très sec, avec un peu de poussière.	Idem.	200	4	1,438	1,438	0,175	5516	2286	2286	4	Pas	0,93	Aller.
	2													»	Retour.
	3													0,88	Aller.
	4													0,99	Retour.
	5													0,87	Aller.
	6													0,98	Retour.
15	1	Même accotement.	Idem.	200	4	1,453	1,453	0,115	5518	2413	2413	4	Pas	0,99	Aller.
	2													»	Retour.
	3													0,99	Aller.
	4													0,93	Retour.
16	1	Idem.	Idem.	200	4	1,449	1,449	0,060	5516	2546	2546	4	Pas	1,13	Aller.
	2													1,04	Retour.
	3													1,07	Aller.
	4													1,08	Retour.
	5													1,10	Aller.
	6													»	Retour.
17	1	Route royale n. 192, pavée, en état ord. d'entretien, avec un peu de poussière.	Idem.	200	4	1,438	1,438	0,175	5516	2286	2286	4	Pas	0,78	Aller.
	2													0,85	Retour.
	3													0,94	Aller.
	4													0,83	Retour.
	5													0,95	Aller.
	6													0,95	Retour.
	7													0,93	Aller.
	8													0,92	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
212 / 269,2 } 240,6	114,4	$\frac{1}{39,5}$	12,4	102,0	0,0160	Dynamomètre à compteur. $\frac{P_1}{r'} = 6367$.	
240 / 265,8 } 257,9	113,1	$\frac{1}{40,6}$	12,4	100,7	0,0158	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00345$.	
				Moyenne	0,0159		
»	178	$\frac{1}{31}$	17,4	160,6	0,0209		
»	205	$\frac{1}{26,9}$	17,4	187,6	0,0244		
»	202	$\frac{1}{27,3}$	17,4	184,6	0,0241	Dynamomètre à styles.	
»	196	$\frac{1}{28,2}$	17,4	178,6	0,0233	$\frac{P_1}{r'} = 7666$.	
»	180	$\frac{1}{30,6}$	17,4	162,6	0,0212		
»	196	$\frac{1}{28,2}$	17,4	178,6	0,0233		
				Moyenne	0,0229		
»	175,5	$\frac{1}{31,5}$	16,4	159,1	0,0209		
»	179,0	$\frac{1}{30,8}$	16,4	162,6	0,0213	Dynamomètre à styles.	
»	172,5	$\frac{1}{31,5}$	16,4	156,1	0,0205	$\frac{P_1}{r'} = 7618$,	
»	183,0	$\frac{1}{30,1}$	16,4	167,6	0,0220		
				Moyenne	0,0212		
» / »	205 / 222 } 213,6	$\frac{1}{25,8}$	17,3	196,3	0,0258		
» / »	210 / 219,5 } 214,7	$\frac{1}{25,7}$	17,3	197,4	0,0259	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 7613$.	
» / »	21 8 / 221 } 219,5	$\frac{1}{25,1}$	17,3	202,2	0,0265		
				Moyenne	0,0261		
» / »	114 / 98 } 106,0	$\frac{1}{49,7}$	17,4	88,6	0,0116		
» / »	98,2 / 92,0 } 95,1	$\frac{1}{57,7}$	17,4	77,7	0,0101	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 7666$.	
» / »	111 / 94 } 102,5	$\frac{1}{53,7}$	17,4	85,1	0,0111		
» / »	101 / 95 } 98,0	$\frac{1}{56,2}$	17,4	80,6	0,0105		
				Moyenne	0,0111		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem[ent]
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
18	1	Route royale n. 192, pavée, en état ordinaire d'entretien, avec un peu de poussière.	Porte-corps d'artillerie.	200	4	1,453	1,453	0,115	5518	2413	2413	4	Pas	0,85	Aller.
	2													0,83	Retour.
	3													0,91	Aller.
	4													0,89	Retour.
	5													0,86	Aller.
	6													0,86	Retour.
	7													0,92	Aller.
	8													»	Retour
19	1	Idem.	Idem.	200	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,03	Aller.
	2													1,23	Retour.
	3													1,26	Aller.
	4													1,25	Retour.
	5													1,26	Aller.
	6													1,27	Retour.
20	1	Idem.	Voiture à trains articulés.	300	6	0,860	0,860	0,060	3270	980 par train.	»	4	Pas	1,50	Aller.
	2													1,54	Retour
	3													1,52	Aller.
	4													1,52	Retour.
21	1	Idem.	Porte-corps d'artillerie.	200	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	4	Pas	0,87	Aller.
	2													»	Retour.
	3													0,83	Aller.
	4													0,84	Retour.
	5													0,80	Aller.
	6													0,86	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
»	101,0 } 94,7	$\frac{1}{58,2}$	16,4	78,3	0,0102		
»	88,5						
»	90,5 } 88,0	$\frac{1}{62,6}$	16,4	71,6	0,0094	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 7648$.	
»	85,5						
»	89,0 } 90,0	$\frac{1}{61,2}$	16,4	72,6	0,0095		
»	91,0						
»	84,0 } 84,2	$\frac{1}{65,4}$	16,4	67,8	0,0089		
»	84,4						
				Moyenne	0,0095		
»	71,5	$\frac{1}{64,5}$	13,3	58,2	0,0092		
»	74,4	$\frac{1}{61,6}$	13,3	61,1	0,0036	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 6323$.	
»	71,4	$\frac{1}{64,3}$	13,3	58,1	0,0092		
»	69,4	$\frac{1}{66,1}$	13,3	56,1	0,0089		
»	69,1	$\frac{1}{66,4}$	13,3	55,8	0,0088		
»	72,9	$\frac{1}{63}$	13,3	59,6	0,0094		
				Moyenne	0,0092		
»	87,4	$\frac{1}{37,4}$	9,7	77,7	0,0102		
»	78,5	$\frac{1}{41,6}$	9,7	68,8	0,0091	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 7605$.	
»	78,9	$\frac{1}{41,5}$	9,7	69,2	0,0091		
»	79,4	$\frac{1}{41,2}$	9,7	69,7	0,0092		
				Moyenne	0,0094		
»	128,0 } 129,7	$\frac{1}{54}$	20,8	108,9	0,0112		
»	131,5						
»	125,0 } 123,0	$\frac{1}{56,5}$	20,8	102,2	0,0103	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'} = 9725$.	
»	121,5						
»	118,5 } 118,3	$\frac{1}{59}$	20,8	97,5	0,0100		
»	118,2						
				Moyenne	0,0106		

64. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* — Les expériences faites sur la route départementale n° 8, en empierrement très solide, offrant quelques gros cailloux à fleur du sol, nous montrent que la valeur du coefficient A est de 0m,0107 pour les roues de 0m,175 de largeur de bande et de 0m,0094 pour celle de 0m,06.

Sur la même route, légèrement humide, ainsi que sur la route départementale n° 132, en empierrement de même nature, mais offrant moins de cailloux à fleur du sol, au même état d'humidité, nous trouvons, avec des roues de 0m,175 de largeur de bande, A=0,0155 et A=0,0154, et avec des roues de 0m,060 de largeur de bande, A=0,0151.

Sur la route départementale n° 8, couverte de boue assez épaisse, nous trouvons pour des roues de 0m,175 de largeur de bande A=0,0302
0m,115 *id.* A=0,0261

Sur la route départementale n° 132, sèche, mais offrant en quelques endroits des débris de matériaux d'entretien, employés deux mois auparavant, on a pour des roues de 0m,175 de largeur de bande,

	à la charge de	6992kil	A=0,0164
	id.	6140	A=0,0163
	id.	4580	A=0,0159
0m,115	*id.*	4594	A=0,0140

Sur un accotement en terre de la route royale n° 192, couvert de poussière, on a trouvé pour des roues de

0m,175	de largeur de bande,	A=0,0229
0m,115	*id.*	A=0,0212
0m,060	*id.*	A=0,0261

Enfin sur le pavé de la même route on a eu, pour des roues de

0m,175	de largeur de jante	A=0,0106 A=0,0111
0m,115	*id.*	A=0,0095 A=0,0092
0m,060	*id.*	A=0,0094

L'ensemble de ces résultats montre que, sur les routes en empierrement solide et sur le pavé, la résistance au roulement est, à très peu près, indépendante de la largeur de la jante. Toutefois, nous ferons remarquer que les jantes de 0m,175 donnent alors un tirage un peu plus grand que celles de 0m,115 et 0m,060. La différence est d'ailleurs assez légère, et peut être influencée par des circonstances accidentelles; mais il ne me paraît pas impos-

sible que, l'inclinaison des essieux obligeant les roues à se mouvoir autour de l'axe d'un cône, le glissement de la surface de la bande sur le sol, qui en est la conséquence, ne tende aussi à augmenter la résistance des roues larges.

Sur les routes couvertes de boue et sur les accotements en terre ferme, nous ne trouvons pas non plus de différences très notables entre l'intensité du tirage avec les roues larges ou étroites; néanmoins, sur l'accotement en terre ferme sur lequel nous avons opéré, les roues de $0^m,06$ avaient un désavantage assez marqué.

65. *Conclusion relative aux routes pavées et en empierrement solide.* Si l'on remarque que les expériences faites sur les routes du polygone et de la gorge de Belle-Croix sont relatives à des largeurs comprises entre $0^m,045$ et $0^m,280$, c'est-à-dire entre des limites bien plus étendues que celles entre lesquelles varient les jantes ordinairement employées sur les grandes routes pour les voitures pesantes, et qui sont habituellement comprises entre $0^m,070$ et $0^m,220$ au plus, on admettra sans doute avec nous que,

Sur toutes les routes de ce genre en bon état d'entretien, et même en assez mauvais état, quand le fond en est solide, la résistance au roulement est, comme sur le pavé, à peu près indépendante de la largeur de la jante.

Par conséquent, dans ce cas, l'augmentation de la largeur ne diminue pas le tirage, et surcharge inutilement la voiture.

Mais il n'en est pas de même dans les terrains mous ou sur les routes en empierrement nouvellement rechargées ou construites avec des matériaux friables, comme ceux que l'on emploie dans une partie de la Champagne, et l'on voit qu'il y aura, sous le rapport de la diminution du tirage, d'autant plus d'avantage à augmenter la largeur des jantes que le sol sera plus mou et plus pénétrable.

66. *Observation relative à l'influence de la largeur des jantes sur la conservation des routes.* — Nous n'avons examiné jusqu'ici l'influence de la largeur des jantes que sous son rapport avec l'intensité de la résistance opposée par le sol au roulement de la roue; si nous la considérons sous celui de la conservation des routes, nous arriverons à des conséquences à peu près analogues.

Il est évident, en effet, que, dans les sols mous, la profondeur des ornières sera d'autant moindre que la largeur des jantes sera plus grande, et que, dans les terrains de ce genre, les routes seront d'autant moins détériorées que les bandes seront plus larges; mais il est rare que les routes soient à un état assez homogène de composition pour que cet avantage y soit aussi grand que dans les terres et le sable. En effet, les routes sont entretenues avec des

matériaux concassés, des cailloux roulés dont la grosseur et la dureté varient, d'où il résulte que, dans les routes en bon état ordinaire, il y a toujours une quantité plus ou moins grande de matériaux plus durs ou plus gros qui affleurent le sol, et qui supportent presque seuls le poids des charges. En un mot, la charge est loin de se répartir uniformément sur toute la largeur de la bande, et dès lors la fatigue de la route ne décroît pas autant qu'on pourrait l'espérer par l'augmentation de largeur des bandes.

On doit encore remarquer que les expériences précédentes, et les conséquences que nous en tirons, sont relatives à des jantes exactement cylindriques et à arêtes vives, susceptibles d'agir uniformément sur toute leur largeur, quand l'homogénéité du terrain le permettait, tandis que les jantes des roues, quelque larges qu'elles soient quand on les met en service, deviennent convexes et arrondies, et ne portent plus que sur une petite partie de leur largeur totale.

Il en est à plus forte raison de même sur le pavé, dont une seule pierre ou deux au plus se partagent la charge de chaque roue, et la transmettent par leur base au sol inférieur, quelle que soit à peu près la largeur de la bande; d'où il résulte que la conservation de la route dépend, dans ce cas, beaucoup plus de la dimension des pavés, de la solidité du sol sur lequel ils reposent, et de la manière dont ils sont posés, que de la largeur des bandes.

Il nous semble donc permis de conclure que, sous ce rapport, il ne convient de donner à la bande une largeur de $0^m,15$ et plus que pour les terrains mous et très compressibles; mais que, pour les routes ordinaires en bon empierrement, il est inutile de la porter au delà de $0^m,10$ à $0^m,12$, et que pour les chaussées pavées il est plus que suffisant d'exiger ces dernières dimensions.

67. *Observations sur la largeur des bandes de roue prise pour base des tarifs de chargements.* —A ces réflexions j'ajouterai que, les roues n'étant presque jamais cylindriques, et tournant dans un plan incliné à l'horizon, les circonférences extérieure et intérieure n'ont pas des vitesses égales dans le sens du mouvement, et qu'il en résulte un glissement relatif de leur surface sur le sol, ce qui tend à produire une désagrégation sensible et une augmentation dans le tirage. Cet inconvénient, qui ne saurait être évité que par l'emploi de fusées cylindriques et de roues exactement verticales, outre qu'il paraît évident de lui-même, a été bien constaté par les expériences de M. Cumming et par celles de M. Edgeworth. Il en résulte que l'exagération de la largeur des jantes est plus nuisible qu'utile à la conservation des routes.

On a déjà vu que l'hypothèse d'une égale répartition de la pression sur toute la largeur de la jante n'est admissible que sur les terrains mous et

homogènes, et que, par conséquent, son application aux routes ordinaires en empierrement, et, à plus forte raison, aux chaussées pavées, ne saurait être exacte. C'est ce dont on peut facilement s'assurer, soit en regardant une voiture qui vient au devant de soi, et dont on voit les roues ne poser que par une petite portion de leur largeur, ou en relevant, comme l'a fait M. Dupuit, la largeur des empreintes laissées par les roues sur le sol. En regardant l'empreinte formée sur le sol ou la surface des bandes de roue des voitures pesantes, telles que des diligences, on remarque, en effet, que, même sur des routes en empierrement très unies et un peu ramollies par la pluie, la zône de contact réel n'excède guère $0^m,05$ à $0^m,06$, et qu'elle correspond presque toujours à l'un des bords de la roue, quand la bande n'est pas trop arrondie.

Enfin l'autorisation de charger proportionnellement aux largeurs des jantes a conduit à laisser porter, par des voitures à deux roues, des chargements qui devraient être répartis sur quatre, et qui dégradent les routes. Car ces masses énormes brisent et broient les pierres sur lesquelles elles reposent par une faible portion de la largeur de la bande de roue, et qui auraient résisté à la même charge répartie sur quatre roues.

Il me semble donc que, sous tous les rapports, le principe de la proportionnalité des chargements aux largeurs des jantes n'est pas exact dans la pratique, et que l'application absolue qu'on en fait pour la fixation des tarifs sur le roulage est à la fois gênante pour le commerce, et plus nuisible qu'utile aux routes. D'un autre côté, l'expérience montrant que, sur les terrains compressibles, la résistance et la profondeur de l'impression diminuent à mesure que la largeur de la jante augmente, non pas proportionnellement à cette largeur, mais seulement à peu près proportionnellement à l'accroissement de largeur, on voit que cette dimension a une influence qu'il ne serait pas permis de négliger, et il ne me semble donc pas juste non plus de dire, comme le font quelques ingénieurs, que l'intérêt de la route soit étranger à la fixation de cette dimension.

Entre ces deux opinions opposées, il y a lieu ici, comme dans tant d'autres questions pratiques, de prendre un moyen terme, et c'est ce qui m'a conduit à dire qu'il me paraissait inutile, sur les routes ordinaires en empierrement, d'exiger des largeurs de plus de $0^m,10$ à $0^m,12$. On verra plus loin cette conclusion complétement confirmée par les résultats des expériences directes sur les effets destructeurs que les voitures produisent sur les routes.

68. *Remarque relative aux terrains en pente.* — Une partie des expériences contenues dans le tableau ayant été faites sur des terrains en pente, et les

formules employées ayant tenu compte de l'influence de la gravité, on voit, par l'accord des résultats obtenus dans la montée avec ceux qui l'ont été dans la descente, que la résistance au roulement est indépendante de la pente. Mais cette conséquence ne doit être étendue qu'au cas où la pente est assez faible et la résistance assez grande pour que le tirage à la descente soit encore assez fort et assez régulier pour qu'il n'y ait pas d'acoup dans le mouvement, ainsi qu'on l'a déjà fait observer au n° 14.

69. *Influence de la vitesse de transport sur la résistance.* — Pour reconnaître l'influence de la vitesse de transport sur la résistance, nous avons fait marcher, sur des sols à divers états de consistance et d'égalité à leur surface, les différents véhicules à des vitesses comprises dans les limites ordinaires de la pratique, et nous avons déterminé par expérience les efforts moyens ou la quantité de travail consommée par mètre courant de chemin parcouru à chaque vitesse.

Une partie de ces expériences ont été faites avec le dynamomètre à styles, sur des étendues de chemin limitées parfois par les localités, mais que l'on a cherché à rendre aussi grandes que possible, et qui, sur les routes, ont été habituellement de 250 à 300 mètres. D'autres ont été exécutées avec le dynamomètre à compteur, avec lequel il nous est devenu facile d'opérer à des allures bien réglées sur des distances de 1000 mètres et plus.

70. *Observation relative au dynamomètre à compteur.* — L'accord des résultats obtenus dans diverses circonstances, soit avec le dynamomètre à styles, soit avec le dynamomètre à compteur, montre que ce dernier instrument donne des indications aussi exactes que l'autre, et qu'il est éminemment propre à des observations suivies sur le travail développé par les moteurs animés et pour toutes les expériences sur le tirage des voitures ou des charrettes.

Pour l'intelligence des résultats, nous rappellerons (V. le n° 21 de la notice sur les appareils dynamométriques) que la formule à employer pour déduire du nombre de tours faits par la roulette du compteur la quantité de travail développée par le moteur est

$$FE = \frac{2\pi R \cdot r'\rho k}{R'} N,$$

dans laquelle on représente par

F l'effort moyen exercé par le moteur,

E le chemin parcouru,

R le rayon de la roue sur laquelle on prend le mouvement du plateau,

r' le rayon de la poulie du plateau, y compris le demi-diamètre de la corde,

ρ le rayon de la roulette,

k le rapport constant des efforts exprimés en kilogrammes aux flexions exprimées en mètres,

R' le rayon moyen de la partie du moyeu embrassée par la corde qui transmet le mouvement au plateau,

N le nombre de tours de la roulette correspondant au chemin parcouru e.

Le nombre constant par lequel celui des tours de la roulette du compteur est multiplié dans les formules rapportées à l'avant-dernière colonne des tableaux est la valeur que prend pour chaque voiture et chaque instrument la fraction $\frac{2\pi R \cdot r'\rho k}{R'}$.

71. Les tableaux suivants contiennent les résultats des expériences exécutées à Metz et à Paris en 1838, et aux environs de Courbevoie en 1839.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRES des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
1 2 3 4	Sol du polygone de Metz, gazon humide et un peu mou.	Appareil avec arbre en fonte, décrit n. 24.	150	0,787	»	0,045	1042,0	115,0	»	4	Pas
5 6 7	Idem.	Idem.	150	0,787	»	0,045	1042,0	115,0	»	4	Trot
8 9	Idem.	Idem.	150	0,787	»	0,090	1335,0	115,0	»	2	Pas
10 11	Idem.	Idem.	150	0,787	»	0,090	1335,0	115,0	»	2	Trot
12 13 14	Idem.	Idem.	150	0,787	»	0,135	1447,5	115,0	»	2	Pas
15 16	Idem.	Idem.	150	0,787	»	0,135	1447,5	115,0	»	2	Trot
17 18	Sol du polygone de Metz, rechargé de 0m,16 à 0m,18 de gravier.	Idem.	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Pas
19	Idem.	Idem.	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Trot
20	Idem.	Idem.	40	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	3	Galop
21 22 23	Route de la gorge de Belle-Croix, accotement chargé de gravier.	Idem.	55	1,582	»	0,074	2163,0	115,0	»	2	Pas

VITESSE V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondᵗ à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	Résistance au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS
m.	m.		k.	k.		k.			
1,35	»	»	166,0	»	»	160,5	0,0605		
1,39	»	»	162,5	»	»	157,0	0,0593	$R = 0,967F \mp (P+p)\frac{h}{L}$	
1,45	»	»	164,0	»	»	158,5	0,0599	$\frac{P+p}{r} = 2648.$	
1,43	»	»	162,5	»	»	157,0	0,0593		
2,72	»	»	164,0	»	»	158,5	0,0599		
2,79	»	»	175,5	»	»	169,7	0,0641	Idem.	
2,90	»	»	164,0	»		158,5	0,0599		
1,18	»	»	215,0	»	»	207,9	0,0613	$\frac{P+p}{r} = 3392.$	
1,37	»	»	215,5	»	»	208,4	0,0615		
3,06	»	»	180,0	»	»	174,0	0,0513	Idem.	
3,70	»	»	215,0	»	»	207,9	0,0613		
1,32	»	»	172,8	»	»	167,0	0,0454		
1,36	»	»	177,0	»	»	171,2	0,0465	$\frac{P+p}{r} = 3679.$	
1,38	»	»	178,5	»	»	172,5	0,0468		
2,49	»	»	172,0	»	»	166,3	0,0451	Idem.	
2,72	»	»	172,8	»	»	167,0	0,0454		
1,33	»	»	197,5	»	»	191,0	0,0654	$\frac{P+p}{r} = 2919.$	
1,33	0,0029	»	199,5		»	186,7	0,0640		
2,86	0,0029	»	206,3	6,3	»	193,0	0,0661	Idem.	
4,00	0,0029	»	225,5	6,3	»	211,7	0,0725	Idem.	
1,25	−0,0013	»	179,5	− 2,8	»	176,2	0,0604		
1,37	»	»	189,2	»	»	183,1	0,0627	Idem.	
1,37	»	»	193,5	»	»	187,1	0,0641		

NUMEROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	de derrière. $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	sur les essieux de devant P'	de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
24 25	Même route.	Même appareil.	55	1,582	»	0,074	2163,0	115	»	3	Trot
26	Idem.	Idem.	55	1,582	»	0,074	2163,0	115	»	3	Galop
27 28	Chemin des batter. du polygone de Metz, humide, empierrement en bon état, compressible.	Idem.	150	0,787	»	0,045	1042,0	115	»	2	Pas Trot
29 30 31	Même chemin, mouillé et couvert de boue.	Idem.	150	0,787	»	0,030	1333,0	115	»	2 3	Pas Trot
32 33	Même chemin, un peu humide.	Idem.	150	0,787	»	0,135	1447,5	115	»	4	Pas
34 35	Idem.	Idem.									Trot
36 37 38	Sol du polygone de Metz, détrempé par la fonte des neiges, très mou.	Chariot à munitions	500	1,150	1,585	0,072	2681,0	1175	1175	4	Pas
39	Idem.	Idem.									Trot
40 41 42	Chemin rechargé de décombres dans la cour de l Arsenal de Metz, sur une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,12$.	Appareil avec arbre en fonte, décrit au n. 24.	50	0,787	»	0,26	1918,6	115	»	3	Pas Trot

VITESSE V	PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
2,90	»	»	201,8	»	»	195,0	0,0668	$\frac{P+p}{r}=2919.$	
3,33	»	»	175,2	»	»	169,4	0,0580		
								$R=0,967\,F\mp(P+p)\,\frac{h}{L}.$	
4,59	»	»	169,5	»	»	164,0	0,0562	$\frac{P+p}{r}=2919.$	
1,30	»	»	88,0	»	»	85,0	0,0321	$\frac{P+p}{r}=2648.$	
2,70	»	»	93,0	»	»	89,8	0,0339		
1,22	»	»	125,0	»	»	120,8	0,0356		
1,46	»	»	133,0	»	»	128,6	0,0379	$\frac{P+p}{r}=3392.$	
3,10	»	»	132,0	»	»	127,6	0,0376		
1,36	»	»	183,0	»	»	177,0	0,0481	$\frac{P+p}{r}=3679.$	
1,38	»	»	185,0	»	»	178,9	0,0486		
2,49	»	»	178,0	»	»	172,0	0,0467	Idem.	
2,72	»	»	179,0	»	»	173,9	0,0473		
1,09	»	»	348,5	»	7,3	341,2	0,0851	$\rho'=\rho''=0^m,032.$	
1,12	»	»	344,0	»	7,3	336,7	0,0839	$\frac{P+p}{r}=4011.$	
1,20	»	»	339,5	»	7,3	332,2	0,0828	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00362.$	
								$\frac{f\rho''}{r''}=0,00262.$	
2,15	»	»	363,0	»	7,3	755,7	0,0887	$f=0,065.$ $p'=142^k,\ p''=189k.$	
1,20	»	»	235,0	»	»	227,5	0,0467		
1,27	»	»	243,0	»	»	235,0	0,0482	$\frac{P+p}{r}=4876.$	
3,22	»	»	205,0	»	»	198,0	0,0408		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol. P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
43			300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1345,5	4	Pas
44	Route de Thionville très sèche avec cailloutage à fleur du sol, couverte d'un peu de poussière.										
45		Charlot à munitions.	600								Pas
46			1000								
47			1000								
48			500	1,150	1,585	0,072	2550	1110,7	1110,7	4	
49			800								
50	Idem.	Idem.	600								Trot
51			700								
52							2497	1083,2	1083,2		
53							2497	1083,2	1083,2		
54	Idem.	Idem.					2497	1083,2	1083,2	2	Pas
55							2728	1198,5	1198,5		
56			350	1,150	1,585	0,072	2728	1198,5	1198,5		
57							2728	1198,5	1198,5		
58	Idem.	Idem.					2728	1198,5	1198,5	2	Trot
59							2497	1083,2	1083,2		
60											
61		Affût de 16 avec sa pièce.								2	Pas
62	Route de Nanci entre Metz et Montigny, en parfait entretien avec de petits cailloux à fleur du sol, très sèche, sans poussière.		300	1,564	1,564	0,100	3715	»	»		
63		Idem.									
64										4	Pas alongé
65											

VITESSE V	PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre		RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
				la gravité.	le frottement des essieux				
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
1,50	0,0009	»	56,0	2,7	8,4	44,9	0,0039		Pl. II, g. 1.
1,50	0,0011	»	56,0	3,3	8,4	44,3	0,0098	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4523.$	Ces expériences ont été faites avec le dynamomètre à compteur.
1,49	»	175	53,7	»	6,9	46,8	0,0123	$\rho'=\rho''=0^m,032.$ $P'=142$ kil.	
1,50	»	288	53,0	»	6,9	46,1	0,0121	$P_1''=169$ kil.	Données pour la formule de cet instrument.
1,52	»	283	52,1	»	6,9	45,2	0,0118	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3815.$	
1,82	»	151	55,6	»	6,9	48,7	0,0127		$R=0^m,575,$ $r'=0,0745,$
1,96	»	252	53,0	»	6,9	51,1	0,0134		$\rho=0,0258,$ $k=3774,$ $FE=184,1\,N,$ $R'=0,1435.$
2,16	»	205	62,9	»	6,9	56,0	0,0147	Idem.	
2,41	»	269	70,7	»	6,9	63,8	0,0167		
1,56	0,0025	»	45,9	6,2	6,8	32,9	0,0088	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3755.$	
1,49	0,0028	»	43,7	7,0	6,8	29,9	0,0080	Idem.	
1,55	−0,0028	»	34,7	−7,0	6,8	34,9	0,0093	Idem.	
1,52	−0,0004	»	44,8	−1,1	6,8	39,1	0,0096		
1,50	−0,0008	»	42,0	−2,2	6,8	37,4	0,0093	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4082.$	
3,20	0,0009	»	65,2	2,4	6,8	56,0	0,0150	Idem.	
3,13	−0,0024	»	67,1	−6,5	6,8	66,5	0,0178	Idem.	
3,22	0,0021	»	63,6	5,2	6,8	51,6	0,0138	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3735$	
1,24	0,0078	»	89,0	29,0	9,7	50,3	0,0106	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4751$	
1,24	0,0078	»	93,5	29,0	9,7	54,8	0,0115		Pl. II, fig. 2.
1,31	0,0078	»	93,2	29,0	9,7	54,5	0,0115		
								$\rho'=\rho''=0^m,038.$	
1,51	0,0078	»	95,5	29,0	9,7	56,8	0,0120	$\frac{f\rho}{r}=0,0316.$	
1,53	0,0078	»	90,0	29,0	9,7	51,3	0,0108	$p=320^k,5.$	
1,53	0,0078	»	90,8	29,0	9,7	52,1	0,0110	$f=0,065.$	

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol. P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
66											
67	Même route.	Affût de 16 avec sa pièce.									Petit tro
68			300	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	4	
69											
70	Idem.	Idem.									Grand tro
71											
72											
73											
74	Pavé en grès de Sierck, de la rue d'Asfeld à Metz.	Idem.									Pas
75											
76											
77											
78	Idem.	Idem.									
79			184	1,564	1,564	0,100	3715	»	»	4	Pas allong
80											
81	Idem.	Idem.									
82											
83											Petit tro
84	Idem.	Idem.									
85											
86											Trot allon
87		Chariot à munitions									
88			300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1343,5	4	Pas
89	Route de Thionville, accotement rechargé de 0m,04 à 0m,05 de gravier.	Idem.									Petit tro
90		Idem.									Trot allon
91			300	1,150	1,585	0,072	3022	1345,5	1343,5	4	
92	Idem.	Idem.									Galop

ITESSE V	PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
2,42	0,0078	»	99,8	29,0	9,7	61,1	0,0129		
2,44	0,0078	»	102,3	29,0	9,7	63,6	0,0134	$\frac{P_1 l'}{r'} + \frac{P_1 l''}{r''} = 4751.$	
2,48	0,0078	»	103,7	29,0	9,7	65,0	0,0137		
3,66	0,0078	»	115,6	29,0	9,7	76,9	0,0162		
3,85	0,0078	»	119,0	29,0	9,7	80,3	0,0169		
3,83	0,0078	»	128,0	29,0	9,7	89,3	0,0188		
1,09	0,0069	»	68,5	25,6	9,7	33,2	0,0070		Pl. II, fig. 3.
1,21	0,0069	»	68,8	25,6	9,7	33,5	0,0071		
1,20	0,0069	»	72,3	25,6	9,7	37,0	0,0078		
1,24	0,0069	»	68,8	25,6	9,7	33,5	0,0071		
1,42	0,0069	»	72,5	25,6	9,7	37,2	0,0079		
1,51	0,0069	»	79,8	25,6	9,7	44,5	0,0094		
1,55	0,0069	»	78,0	25,6	9,7	42,7	0,0090		
1,60	0,0069	»	78,8	25,6	9,7	43,5	0,0092		
2,21	0,0069	»	96,3	25,6	9,7	61,0	0,0128		
2,21	0,0069	»	100,2	25,6	9,7	64,9	0,0137		
2,29	0,0069	»	99,4	25,6	9,7	64,1	0,0135		
2,67	0,0069	»	123,5	25,6	9,7	88,2	0,0186		
3,28	0,0069	»	127,5	25,6	9,7	92,2	0,0194		
3,28	0,0069	»	127,0	25,6	9,7	91,7	0,0193		
3,28	0,0069	»	130,5	25,6	9,7	95,2	0,0201		
1,39	−0,0028	»	254,0	−8,4	8,4	254,0	0,0562		
1,45	−0,0028	»	245,0	−8,4	8,4	245,0	0,0542		
2,64	−0,0019	»	259,0	−5,7	8,4	256,3	0,0567	$\frac{P_1 l'}{r'} + \frac{P_1 l''}{r''} = 4523.$	
3,03	−0,0028	»	250,4	−8,4	8,4	250,4	0,0554		
3,70	−0,0019	»	253,5	−5,7	8,4	250,8	0,0554		
4,00	−0,0028	»	266,0	−8,4	8,4	266,0	0,0588		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRES des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
93			40								
94	Pavé de grès de Sierk. Rampe devant l'école d'artill.	Appareil avec arbre en fonte.	40								Pas
95			50	0,787	»	0,135	1549,6	80,0	»	2	
96	Idem.	Idem.	50								Trot
97			50								
98	Pavé de grès de Sierk, de la rue d'Asfeld.	Chariot à munition.	184	1,150	1,585	0,072	2440,8	1054,9	1054,9	2	Pas
99			184								
100			100				5250,0	2157	2606		
101	Route de Thionville couv. de boue, en empierrem. en bon état, cailloux à fleur du sol.	Diligence des messageries Générales.	200				5165,0	2092	2606	4	Pas
102			400				5165,0	2092	2606		
103			360				5250,0	2157	2606		
104			1000								
105			1000	0,880	1,400	0,110					
106			1000								
107			1000								
108	Idem.	Idem.	1000				2500,0	1094	959,0	4	Trot
109			1000								
110			1000								
111			1000								
112	Route de Thionville.	Calèche d'Ehrler.									Pas
113											
114	Idem.	Idem.	400	0,922	1,300	0,060	1425,0	637,5	592,5	2	Petit trot
115											
116	Idem.	Idem.									Grandtrot
117											

VITESSE V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre		Résistance au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS
				la gravité.	le frottement des essieux				
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
1,05	0,04950	»	113,5	76,7	»	33,1	0,0084	$R=0,967\,F\mp(P+p)\frac{h}{L}$.	Pl. II, fig. 5.
1,24	0,04950	»	119,0	76,7	»	38,4	0,0097	$\frac{P+p}{r}=3938$.	
1,30	0,03850	»	103,6	59,4	»	40,8	0,0104		
2,50	0,04430	»	144,0	68,6	»	70,6	0,0179		
2,86	0,03450	»	130,0	53,4	»	72,3	0,0184		
1,49	0,00690	»	58,5	16,8	6,6	35,1	0,0096	$\rho'=\rho''=0^m,032$.	Pl. II, fig. 4.
1,80	0,00690	»	59,8	16,8	6,6	36,4	0,0 0[illegible]	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3651$.	
1,25	0,00110	»	160,0	5,7	19,3	135,0	0,0143	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=9454$.	Pl. II, fig. 6.
1,43	0,00225	»	168,0	11,6	19,0	137,4	0,0148	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r'},=9306$.	
1,49	0,00012	»	137,2	0,6	19,0	117,6	0,0126	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r'},=9454$.	
1,38	0,00077	»	155,8	4,0	19,3	132,5	0,0140	$p'=191$ k.. $p''=276$k.	
2,86	»	482,5	102,3	»	8,6	93,7	0,0201		
2,90	»	461,5	97,8	»	8,6	89,2	0,0193		
2,95	»	476,0	100,7	»	8,6	92,1	0,0198	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4656$.	Données pour la formule du compteur. $R=0^m,440$. $r'=0^m,0745$. $\rho=0^m,0258$. $k=3774$ pour le dynamom. de 300 kil. $R'=0^m,0935$. FE=212N.
2,95	»	455,0	96,5	»	8,6	87,9	0,0189	$\rho'=\rho''=0^m,0345$.	
2,97	»	456,4	96,8	»	8,6	88,2	0,0189	$\frac{f\rho'}{r'}=0,0051$.	
2,99	»	449,5	95,3	»	8,6	86,7	0,0186	$\frac{f\rho''}{r''}=0,0032$.	
3,05	»	491,0	104,1	»	8,6	95,5	0,0205	$f=0,065$.	
3,15	»	456,5	96,8	»	8,6	88,2	0,0189		
1,50	»	»	43,7	»	3,7	40,0	0,0151	$\rho'=\rho''=0^m,025$.	Pl. II, fig. 9.
1,60	»	»	46,5	»	3,7	42,8	0,0162	$p'=75$ k.. $p''=120$ k..	
2,82	»	»	48,6	»	3,7	44,9	0,0172		
2,96	»	»	54,7	»	3,7	51,0	0,0193	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=2642$.	
3,56	»	»	53,5	»	3,7	49,8	0,0188	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00353$.	
3,68	»	»	57,1	»	3,7	53,4	0,0202	$\frac{f\rho''}{r''}=0,0025$. $f=0,065$.	

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P₁	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
118, 119, 120	Route de Metz à Nanci, entre Jouy et Montigny. Au milieu de la chaussée, en bon état d'entretien, mouillée par la pluie, un peu de boue. Quelques cailloux à fleur du sol.	Diligence des Messageries Générales.	1000	0,912	1,400	0,110	4597	1854	2309	4	Pas
121, 122, 123, 124, 125		Idem.									Petit trot
126, 127, 128, 129		Idem.									Trot allong
130, 131	Même route un peu humide.	Idem.	300	0,912	1,400	0,110	4402	1724	2244	4	Pas
132, 133	Idem.	Idem.					4532	1789	2309	4	Trot
134, 135	Idem.	Idem.					4597	1854	2309	4	Trot allong
136, 137	Même route. Sur l'accotement, une ornière de $0^m,05$ à $0^m,06$.	Idem.	300	0,912	1,400	0,110	4402	1724	2244	4	Pas
138, 139, 140	Sur le côté extérieur, poussière sèche.	Idem.					4597	1854	2309	4	Trot

VITESSE V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	Résistance au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
1,40	»	919,5	134,2	»	16,5	117,7	0,0145	$\rho' = \rho'' = 0^m,0345.$	Pl. II, fig. 7.
1,43	»	943,0	137,7	»	16,5	121,2	0,0150	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00492.$	
1,44	»	2002,0	146,3	»	16,5	129,8	0,0160	$\frac{f\rho''}{r''} = 0,0032.$	
1,45	»	993,0	145,0	»	16,5	128,5	0,0159	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 8102.$	
2,30	»	1076,0	157,1	»	16,5	140,6	0,0173		
2,32	»	1050,0	153,3	»	16,5	136,8	0,0169	$p' = 154$ k. $p'' = 280$ k.	FE = 146 N.
2,32	»	1107,0	161,6	»	16,5	145,1	0,0179		
2,47	»	1112,0	162,3	»	16,5	145,8	0,0180		
3,57	»	1143,0	166,9	»	16,5	150,4	0,0186		
3,71	»	1258,0	183,6	»	16,5	167,1	0,0206		
3,57	»	1234,0	180,2	»	16,5	163,7	0,0202		
3,71	»	1127,0	164,5	»	16,5	148,0	0,0183		
1,27	»	»	110,7	»	15,7	95,0	0,0123	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 7724.$	Pl. II, fig. 8.
1,27	»	»	114,3	»	15,7	98,6	0,0128		
2,40	»	»	120,6	»	16,2	104,4	0,0131	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 7959.$	
2,46	»	»	112,2	»	16,2	96,0	0,0121		
3,70	»	»	133,7	»	16,5	117,2	0,0145	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 8102.$	
3,80	»	»	130,5	»	16,5	114,0	0,0141		
1,40	»	»	163,7	»	15,7	148,0	0,0192	$\frac{P'_1}{r'} + \frac{P''_1}{r''} = 7724.$	
1,50	»	»	186,0	»	15,7	170,3	0,0221		
2,60	»	»	202,5	»	16,5	186,0	0,0230		
2,70	»	»	196,5	»	16,5	180,0	0,0222	$\frac{P'_1}{r} + \frac{P''_1}{r''} = 8102.$	
2,80	»	»	192,2	»	16,5	175,7	0,0217		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol. P_t	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
141	Même route, sur l'accotement une ornière de 0,10 à 0,15.	Même voiture.	300	0,912	1,400	0,110	4597	1834	2309	4	Pas
142											Trot
143											
144							2300	959	874	2	Pas
145											
146	Route de Thionville, un peu humide, bien roulante, sans boue, avec cailloutage à fleur du sol.	Idem.	300	0,900	1,400	0,110					
147							3700	1375	1858	2	Pas
148							3830	1440	1923	2	Pas
149							3830	1440	1923	2	Pas
150							3830	1440	1923	2	Pas
151			420				2500	959	874	4	Pas
152	Même route, sur un accotement rechargé de $0^m,04$ à $0^m,05$ de gravier.	Idem.	420	0,900	1,400	0,110	2300	959	874	4	
153			520				5165	2092	2606	4	Trot
154			420				2300	959	874	4	Galop
155	Pavé en grès de Sierck, de la rue d'Asfeld, à Metz.	Idem.					4877	1791	2249	»	Pas
156							4402	1734	2244	»	Pas
157											
158	Idem.	Idem.					4402	1734	2244	»	Pas accé
159											
160			184	0,912	1,400	0,110					
161	Idem.	Idem.					4597	1834	2309	»	Trot
162											
163											
164											
165	Idem.	Idem.					4597	1834	2309	»	Trot accé
166											
167											

ITESSE V	PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient. A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m.	m.		k.	k.	k.	k.			
1,55	»	»	204,25	»	16,5	187,7	0,0232	$\frac{P'_1}{r'}+\frac{P''_1}{r''}=8102.$	
2,97	»	»	235,5	»	16,5	219,0	0 0270		
1,50	0,0002	»	48,0	0,5	7,6	39,9	0,0035		
1,50	0,0009	»	51,4	2,1	7,6	41,7	0,0099	$\rho = 0^m,0345.$	
1,55	0,0011	»	53,3	2,5	7,6	43,2	0,0103	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4198.$	
1,55	0,0024	»	51,5	5,5	7,6	38,4	0,0091	$p'=191$ k. $p''=276$ k.	
1,50	−0,0005	»	70,5	−1,8	12,8	59,5	0,0091	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6528.$	
1,31	0,0026	»	92,0	10,0	13,3	68,7	0,0101		
1,54	0,0000	»	73,0	0,0	13,5	69,7	0,0103	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=6766.$	
1,50	0,00105	»	86,7	4,2	13,5	69,2	0,0102		
1,34	−0,0022	»	186,8	−5,1	7,6	184,3	0,0439	$\frac{P_1'}{r}+\frac{P_1''}{r''}=4198.$	
1,43	0,0025	»	195,0	5,7	7,6	181,7	0,0432	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=9190.$	
2,58	0,0025	»	479,5	12,9	18,7	447,9	0,0488		
4,50	0,0023	»	208,0	5,3	7,6	195,1	0,0465	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=4198.$	
1,27	0,0069	»	110,2	30,9	13,9	63,4	0,0080	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=7883.$	
1,26	0,0069	»	107,0	30,4	15,7	60,9	0,0079	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=7724.$	Pl. III, fig. 9.
1,53	0,0069	»	110,2	30,4	15,7	64,1	0,0083	$p'=154$ k. $p''=280$ k. $\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=7724.$	
1,60	0,0069	«	113,5	30,4	15,7	67,4	0,0087	Idem.	
1,60	0,0069	»	115,6	30,4	15,7	69,5	0,0090	Idem.	
2,42	0,0069	»	127,2	31,7	16,5	79,0	0,0099		
2,42	0,0069	»	128,5	31,7	16,5	80,3	0,0099		
2,45	0,0069	»	132,5	31,7	16,5	84,3	0,0104		
2,48	0,0069	»	134,0	31,7	16,5	85,8	0,0106	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=8102.$	
3,40	0,0069	»	168,0	31,7	16,5	119,8	0,0148		
3,47	0,0069	»	163,5	31,7	16,5	115,3	0,0143		
3,53	0,0069	»	161,5	31,7	16,5	113,3	0,0140		
3,83	0,0069	»	157,0	31,7	16,5	108,8	0,0134		

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. $2r'$	DIAMÈTRES des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLU
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
168	Pavé en grès de Fontainebleau, rue Stanislas, à Paris, en bon état.	Chariot des messageries Générales, suspendu sur six ressorts.	213	0,84	1,18	0,080	3288	1353	1582,2	2	Pas
169							3288	1353			
170							3353	1418			Pas allong
171							3353	1418			
172							3353	1418			Trot
173							3353	1418			
174							3353	1418			Trot allon
175							3353	1418			
176							3353	1418			
177	Même pavé.	Même chariot non suspendu.	213	0,84	1,18	0,080	3353	1418	1582,2	2	Pas
178							3353	1418			Pas allong
179							3288	1353			
180							3288	1353			Trot
181							3288	1353			
182	Même pavé.	Même chariot suspendu sur six ressorts.	213	1,18	1,50	0,080	3355	1353	1582,2	2	Pas
183							3355	1353			
184							3355	1353			Pas allong
185							3420	1418			Trot
186							3420	1418			
187							3420	1418			Trot allong
188							3420	1418			
189	Même pavé.	Idem.	213	1,18	1,50	0,080	3420	1418	1582,2	2	Pas
190											
191											Pas allong
192											
193											Trot
194											
195											Trot allon
196											
197											

VITESSE V	PENTE par mètre courant. $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspondt à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	Résistance au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS
m.	m.		k.	k.	k.	k.		$\rho' = \rho'' = 0^m,031.$	
1,24	0,01856	»	144,0	61,0	11,9	71,1	0,0108	$p' = 148$ k. $p'' = 205$ k.	
1,45	0,01856	»	146,0	61,0	11,9	73,1	0,0111	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_2''}{r''} = 6602,6.$	Pl. III, fig. 10.
								Cos $\alpha = 0,975.$	
1,59	0,01856	»	149,5	62,2	12,2	75,1	0,0111		
1,70	0,01856	»	153,0	62,2	12,2	78,6	0,0116	$\frac{P_2'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 6757.$	
2,31	0,01856	»	161,5	62,2	12,2	87,1	0,0129		
2,36	0,01856	»	161,0	62,2	12,2	86,6	0,0128	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,0048.$	
3,00	0,01856	»	176,0	62,2	12,2	101,6	0,0150	$\frac{f\rho''}{r''} = 0,00342.$	
3,17	0,01856	»	176,5	62,2	12,2	102,1	0,0151		
3,60	0,01856	»	183,5	62,2	12,2	109,1	0,0161	$f = 0,065.$	
1,29	0,01856	»	156,0	62,2	12,2	81,6	0,0121		
1,26	0,01856	»	154,5	62,2	12,2	80,1	0,0118	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 6757.$	Pl. III, fig. 11.
1,60	0,01856	»	177,0	61,0	11,9	104,1	0,0158		
2,05	0,01856	»	189,5	61,0	11,9	116,1	0,0176	$\frac{P_2'}{r'} + \frac{P_1''}{r} = 6602,6.$	
2,29	0,01856	»	215,0	61,0	11,9	142,1	0,0215		
1,05	0,01856	»	133,0	62,2	8,9	61,9	0,0123	$p' = 203$ k. $p'' = 215$ k.	
1,15	0,01856	»	135,0	62,2	8,9	63,9	0,0127	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_2''}{r''} = 5037.$	
1,61	0,01856	»	138,0	62,2	8,9	66,9	0,0133		
2,44	0,01856	»	144,5	63,5	9,1	71,9	0,0140		
2,56	0,01856	»	148,5	63,5	9,1	75,9	0,0148	$\frac{P_2'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 5147$ k.	Pl. III, fig. 12.
3,00	0,01856	»	153,2	63,5	9,1	80,6	0,0157		
3,37	0,01856	»	161,0	63,5	9,1	88,4	0,0172		
1,16	0,01856	68,0	128,0	63,5	9,1	55,4	0,0108		
1,14	0,01856	66,7	125,6	63,5	9,1	53,0	0,0103		
1,60	0,01856	71,0	133,7	63,5	9,1	61,1	0,0119	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00341.$	
1,65	0,01856	70,3	132,3	63,5	9,1	59,7	0,0116	$\frac{f\rho''}{r''} = 0,00268.$	Expériences faites avec le dynamomètre à compteur.
2,30	0,01856	76,5	144,0	63,5	9,1	71,4	0,0139		
2,42	0,01856	75,8	142,7	63,5	9,1	70,1	0,0136	$f = 0,065.$	
3,08	0,01856	86,4	162,6	63,5	9,1	90,0	0,0175	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_2''}{r''} = 5147.$	FE = 400 N.
3,38	0,01856	85,0	160,0	63,5	9,1	87,4	0,0170		
3,38	0,01856	86,5	162,8	63,5	9,1	90,2	0,0175		

N° des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P₁	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem^t
			m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
198	Route dép. n. 32, de Courbevoie à Colombes, très sèche, en bon état, couv. d'un peu de poussière et de quelques débris de matériaux.	Porte-corps d'artillerie.	1042	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,32	Aller.
199													1,3	Retour.
00													1,28	Aller.
201													1,22	Retour.
202													1,17	Aller.
203													1,18	Retour.
204	Idem.	dem.	1042	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Trot	3,10	Aller.
205													2,90	Retour.
206													2,90	Aller.
207													2,92	Retour.
208	Idem.	Idem.	1042	4	1,438	1,438	0,175	4580	1818	1818	4	Pas	1,29	Aller.
209													1,23	Retour.
210													1,28	Aller.
211													1,17	Retour.
212												Trot	2,66	Aller.
213													2,57	Retour.
214													2,80	Aller.
215													2,98	Retour.
216	Route dép. n° 8, en empierrement, très sèche, offrant quelques cailloux à fleur du sol.	Voiture à trains articulés.	400	6	0,860	0,860	0,060	3270	980 sur chaque train.	»	2	Pas	1,50	Aller.
217													1,50	Retour.
218													1,66	Aller.
219													1,48	Retour.
220												Trot	3,33	Aller.
221													3,33	Retour.
222													3,01	Aller.
223													3,33	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
238,5 / 269 } 234	99,4	$\frac{1}{46,2}$	13,3	86,1	0,0136	$\frac{f\rho}{r}=0,0034$. $f=0,065$. $\rho=0^m,038$.	
231,5 / 289,6 } 260,5	102,0	$\frac{1}{45,1}$	13,3	88,7	0,0140	$\frac{P_1}{r'}=6323$. $p'=p''=346$ kil.	
239,5 / 2[illegible]0 } 264,5	103,5	$\frac{1}{44,4}$	13,3	90,2	0,0143	FE = 407,7 N. Dynamomètre à compteur de 600 kil.	Pl. III, fig. 13.
362 / 297 } 329,5	128,9	$\frac{1}{35,6}$	13,3	115,6	0,0183		
342 / 291 } 316,5	123,8	$\frac{1}{37,1}$	13,3	110,5	0,0175		
212 / 269,2 } 240,6	114,4	$\frac{1}{40,0}$	12,5	101,9	0,0160	$\frac{P_1}{r'}=6370$. FE = 495,5 N. Dynamomètre à compteur. $\rho'=\rho''=0^m,038$.	Pl. III, fig. 14.
210 / 265,8 } 237,9	113,1	$\frac{1}{40,5}$	12,5	100,6	0,0158	$\frac{f\rho}{r}=0,00344$. $f=0,065$. $p'=p''=472$ kil.	
242,0 / 301 } 271,5	129,1	$\frac{1}{35,5}$	12,5	116,6	0,0183		
255 / 311,3 } 283,3	134,7	$\frac{1}{34,0}$	12,5	122,2	0,0192		
» / »	67,0 / 111,0 } 89	$\frac{1}{36,7}$	9,7	79,3	0,0104	Dynamomètre à styles. $\frac{P_1}{r'}=7605$. $\rho=0^m,0219$.	Pl. III, fig. 15.
» / »	78,0 / 103,0 } 90,5	$\frac{1}{36,0}$	9,7	80,8	0,0106	$\frac{f\rho}{r}=0,00331$. $f=0,065$. $p'=p''=p'''=110$ kil.	
» / »	81,5 / 118,0 } 99,7	$\frac{1}{32,5}$	9,7	90,0	0,0118		
» / »	86,5 / 119,5 } 103,0	$\frac{1}{31,8}$	9,7	93,3	0,0123		

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvem
					m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
224												Pas	1,66	Aller.
225													1,60	Retour.
226													1,62	Aller.
227													1,56	Retour.
228													1,53	Aller.
229	Route royale n° 192, pavée, en bon état, très sèche.	Omnibus	300	4	0,926	1,298	0,060	2167	926	926	2		1,65	Retour.
230												Trot	3,90	Aller.
231													3,79	Retour.
232													3,73	Aller.
233													3,55	Retour.
234												Pas	1,50	Aller.
235													1,54	Retour.
236													1,52	Aller.
237	Même route.	Voiture à trains articulés.	300	6	0,860	0,860	0,060	3270	980 par train.	»	2		1,52	Retour.
238												Trot	3,06	Aller.
239													3,37	Retour
240													2,90	Aller.
241													3,16	Retour.
242												Pas	1,46	Aller.
243													1,40	Retour.
244													1,47	Aller.
245	Même route.	Même voiture.	300	4	0,860	0,860	0,060	3270	1470	1470	2		1,58	Retour.
246												Trot	3,16	Aller.
247													2,92	Retour.
													3,33	Aller.
249													3,33	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.	k.		
30,5	55,2	$\frac{1}{39,3}$	6,2	49,0	0,0122	$p' = 140$ k. $p'' = 175$ k.	
33,0	59,7	$\frac{1}{36,3}$	6,2	53,5	0,0134	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 3999.$	Cette voiture est celle dont il a été question au n° 52, qui était en fort mauvais état et destinée à être démolie.
33,4	60,5	$\frac{1}{35,8}$	6,2	54,3	0,0136	$\rho' = \rho'' = 0^m,0278.$	
33,8	61,2	$\frac{1}{35,4}$	6,2	55,0	0,0138	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00390.$	
35,0	63,3	$\frac{1}{34,2}$	6,2	57,1	0,0143	$\frac{f\rho''}{r''} = 0,00279.$	
34,5	62,4	$\frac{1}{34,7}$	6,2	56,2	0,0141	FE = 543 N.	
42,8	77,5	$\frac{1}{28,0}$	6,2	71,3	0,0178		Pl. III, fig. 16.
40,0	72,4	$\frac{1}{29,9}$	6,2	66,2	0,0166	Dynamomètre à compteur de 600 k.	
40,0	72,4	$\frac{1}{29,9}$	6,2	66,2	0,0166		
40,4	73,1	$\frac{1}{29,6}$	6,2	66,9	0,0167		
»	87,4	$\frac{1}{37,4}$	9,7	77,7	0,0102	$p' = 55$ k. par roue. $\rho = 0^m,0219.$	
»	78,5	$\frac{1}{41,7}$	9,7	68,8	0,0090	$\frac{f\rho}{r} = 0,0331.$	
»	78,9	$\frac{1}{41,4}$	9,7	69,2	0,0091	$\frac{P_1'}{r'} = 7605.$	
»	79,4	$\frac{1}{41,2}$	9,7	69,7	0,0092	Dynamomètre à styles.	
»	98,5	$\frac{1}{33,2}$	9,7	88,8	0,0117		Pl. III, fig. 17.
»	109,5	$\frac{1}{29,9}$	9,7	99,8	0,0131		
»	100,1	$\frac{1}{32,7}$	9,7	90,4	0,0119		
»	102,4	$\frac{1}{31,9}$	9,7	92,7	0,0121		
»	77,2	$\frac{1}{42,4}$	9,7	67,5	0,0089		Pl. III, fig. 18.
»	82,0	$\frac{1}{39,9}$	9,7	72,3	0,0095	$\frac{P_1'}{r'} = 7605.$	
»	77,5	$\frac{1}{42,2}$	9,7	67,8	0,0089		
»	78,4	$\frac{1}{41,7}$	9,7	68,7	0,0090		
»	105,3	$\frac{1}{31,1}$	9,7	95,6	0,0126		
»	100,3	$\frac{1}{32,6}$	9,7	90,6	0,0119		
»	102,4	$\frac{1}{31,9}$	9,7	92,7	0,0122		
»	102,0	$\frac{1}{32,1}$	9,7	92,3	0,0121		

N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvement
			m.		m.	m.	m.	k.	k.				m.	
250													1,2	Aller.
251													1,23	Retour.
252													1,23	Aller.
253												Pas	1,18	Retour.
254													1,15	Aller.
255													1,14	Retour.
256													1,95	Aller.
257													1,79	Retour.
258	Route royale n° 192, pavée, en état ordin., très sec.	Fourgon des Messag. Générales suspendu sur 8 ressorts.	300	4	0,925	1,420	0,117	5086	2310	2509	4		1,79	Aller.
259												Pas allong	1,91	Retour.
260													1,87	Aller.
261													1,85	Retour.
262													3,20	Aller.
263													3,75	Retour.
264													3,90	Aller.
265												Trot	3,75	Retour.
266													3,90	Aller.
267													3,90	Retour.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route F	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
»	92,6	$\frac{1}{54,9}$	18,0	74,6	0,0082	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=9048.$	
»	94,8	$\frac{1}{53,7}$	18,0	76,8	0,0085	$\frac{f\rho'}{r'}=0,00471.$	
»	96,8	$\frac{1}{52,5}$	18,0	78,8	0,0087	$\frac{f\rho''}{r''}=0,00307.$	
»	97,4	$\frac{1}{52,2}$	18,0	79,4	0,0088	$\rho'=\rho''=0^m,0335.$	
»	95,4	$\frac{1}{53,3}$	18,0	77,4	0,0086	$p'=191$ k.	
»	95,6	$\frac{1}{53,2}$	18,0	77,6	0,0086	$p''=276$ k.	
»	102,6	$\frac{1}{49,6}$	18,0	84,6	0,0094		
»	103,4	$\frac{1}{49,2}$	18,0	85,4	0,0094		
»	101,2	$\frac{1}{50,3}$	18,0	83,2	0,0092		
»	104,6	$\frac{1}{48,6}$	18,0	86,6	0,0096		Pl. III, fig. 19.
»	107,4	$\frac{1}{47,4}$	18,0	89,4	0,0039		
»	108,0	$\frac{1}{47,1}$	18,0	90,0	0,0099		
»	141,4	$\frac{1}{36,0}$	18,0	123,4	0,0137		
»	149,3	$\frac{1}{34,1}$	18,0	131,3	0,0145		
»	163,1	$\frac{1}{31,2}$	18,0	145,1	0,0160		
»	145,4	$\frac{1}{35,0}$	18,0	127,4	0,0141		
»	170,6	$\frac{1}{29,8}$	18,0	152,6	0,0169		
»	159,0	$\frac{1}{32,0}$	18,0	141,0	0,0156		

72. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* Si l'on examine d'abord, parmi les résultats de ce tableau, ceux qui sont relatifs aux voitures non suspendues, telles que les charrettes et chariots à quatre roues, les affûts, etc., on voit que sur les terrains mous ou mobiles, tels que le gazon plus ou moins sec ou humide, ou les rechargements épais de gravier ou de décombres sur des fonds un peu compressibles, les accotements des routes ou les chemins en empierrement de gravier fin, peu raffermis, comme ceux qui sont peu fréquentés, *la résistance au roulement est, dans les limites des expériences, indépendante de la vitesse ;* ce qui tient à ce que, dans tous ces cas, il y a seulement compression du sol, sans choc et sans perte de vitesse du véhicule, et sans communication de vitesse au milieu comprimé.

Mais il n'en est plus de même lorsque le sol devient plus dur et présente des inégalités, comme les routes en empierrement le mieux entretenues, celles qui présentent de gros cailloux à fleur du sol, et le pavé. Il se produit alors des chocs à chaque instant, et la voiture perd une portion de sa vitesse qui doit lui être restituée par le moteur.

Il faut néanmoins limiter la conclusion précédente aux vitesses ordinaires des voitures; car on a vu que, sur les corps compressibles, la profondeur d'impression dépendait du temps et devait être moindre dans les mouvements rapides que dans les mouvements lents; ce qui, dans le cas des sols mous et unis, devrait contribuer à faire diminuer un peu la résistance quand la vitesse augmente. Mais, d'une autre part, on observe quelquefois, en particulier dans le sable fin, que les roues déplacent et jettent à droite et à gauche des volumes de matières d'autant plus considérables que le mouvement est plus rapide. Dans l'application des résultats et des conséquences précédentes, il faut ici, comme dans tout ce qui concerne cette question si complexe, être réservé et prudent, et ne pas les étendre au delà des limites de l'observation.

73. *Loi de la variation de la résistance en fonction de la vitesse sur les terrains durs.* Si l'on construit pour chaque série les résultats immédiats des expériences Pl. III, en prenant les vitesses pour abscisses, et les valeurs du coefficient A pour ordonnées, on reconnaît de suite que les points ainsi déterminés sont sur une même ligne droite inclinée, ce qui montre que la résistance croît proportionnellement avec la vitesse, ou que les accroissements de résistance sont proportionnels à ceux de la vitesse. Par conséquent, les valeurs de A seront données par une expression de la forme

$$A=\gamma+\delta(V-V'),$$

dans laquelle

γ sera une quantité constante exprimant en kilogrammes la valeur de A relative à la vitesse V',

et δ un coefficient numérique constant pour chaque route à un état donné et pour une même voiture.

Les lignes droites qui représentent la loi de la variation de A nous fournissent immédiatement les valeurs de γ et de δ.

En effet, en prenant pour terme de comparaison la vitesse d'un mètre par seconde, qui est à peu près celle du pas ordinaire d'un cheval de roulage assez fortement chargé, on trouve pour les charrettes, affûts et chariots, les valeurs suivantes relatives aux différents terrains.

Voitures non suspendues.

VOITURES employées.	DÉSIGNATION et état des routes.	VALEURS de γ	VALEURS de δ	VALEURS du coefficient A
		Expériences de 1838.		
Chariot d'artillerie à quatre roues.	Route de Metz à Thionville, sèche, en bon état, avec cailloutage à fleur du sol.	0,0092	0,0030	$A = 0{,}0092 + 0{,}0030\,(V-1)$.
Affût de 16 de siége.	Route de Metz à Nanci, près de Montigny, sèche, en parfait état, très unie, entretenue avec de petits cailloux.	0,0100	0,0020	$A = 0{,}0100 + 0{,}0020\,(V-1)$.
Appareil avec arbre en fonte formant charrette.	Pavé en grès de Sierck, en très bon état, rampe devant l'école d'artil. à Metz.	0,0084	0,0053	$A = 0{,}0084 + 0{,}0053\,(V-1)$.
Affût de 16 de siége.	Même pavé, rue d'Asfeld.	0,0066	0,0057	$A = 0{,}0066 + 0{,}0057\,(V-1)$.
Chariot des Messageries Gén. (avec ressorts calés).	Pavé en grès de Fontainebleau, r. Stanislas à Paris.	0,0092	0,0089	$A = 0{,}0092 + 0{,}0089\,(V-1)$.
		Expériences de 1839.		
Porte-corps d'artill. à jantes de $0^m,115$.	Route départementale n. 132 de Courbevoie à Colombes, sèche, avec quelques débris de matériaux à la surface.	0,0130	0,0023	$A = 0{,}0130 + 0{,}0023\,(V-1)$.
Porte-corps d'artill. à jantes de $0^m,175$.	(même route)	0,0152	0,0021	$A = 0{,}0152 + 0{,}0021\,(V-1)$.

74. *Influence de la vitesse sur la résistance éprouvée par les voitures suspendues.* — Si nous passons aux résultats relatifs aux voitures suspendues, nous voyons que, sur les accotements en terre, la résistance est indépendante de la vitesse, même quand il y a des ornières de $0^m,06$ et de $0^m,10$ à $0^m,15$ de profondeur, et quoique dans ces expériences l'une des roues portât sur une partie solide voisine du milieu de la chaussée. Il en est par conséquent de même, à plus forte raison, sur tous les sols mous.

Sur les routes en empierrement, un peu humides, en bon état, comme celle

de Metz à Nanci, entre les villages de Jouy et de Montigny, sur la même route mouillée et couverte d'un peu de boue, et enfin sur celle de Metz à Thionville, mouillée, couverte d'un peu de boue, et avec cailloutage à fleur du sol, nous voyons l'influence de la vitesse s'accroître graduellement à mesure que la route devient plus dure. Il en est de même sur le pavé, et les expériences de 1838 et de 1839 sont parfaitement d'accord à ce sujet.

On trouve, en effet, par le tracé, qu'avec les voitures suspendues des Messageries Générales on a les résultats suivants :

Voitures suspendues.

VOITURES employées.	DÉSIGNATION et état des routes.	VALEURS de γ	VALEURS de δ	VALEURS du coefficient A
	EXPÉRIENCES DE 1838.			
Diligence des Messageries Générales.	Route de Metz à Thionville, mouillée, couverte de boue, avec cailloutage à fleur de sol.	0,0120	0,0038	A=0,0120+0,0038 (V−1).
Calèche construite par M. Erhler.	Même route, sèche.	0,0145	0,0021	A=0,0145+0,0021 (V−1).
Diligence des Messageries Générales.	Route de Metz à Nanci, mouillée, avec un peu de boue et un peu de cailloutage à fleur du sol.	0,0140	0,0022	A=0,0140+0,0022 (V−1).
Idem.	Même route un peu humide.	0,0120	0,0010	A=0,0120+0,0010 (V−1).
Idem.	Pavé en grès de Sierck, rue d'Asfeld à Metz.	0,0072	0,0022	A=0,0072+0,0022 (V−1)
Chariot des Messageries Générales suspendu sur six ressorts.	Pavé en grès de Fontainebleau, rue Stanislas à Paris, en bon état.	0,0098	0,0025	A=0,0098+0,0025(V−1)
	EXPÉRIENCES DE 1839.			
Voitures à trains articulés suspendus.	Route départementale n. 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche.	0,0100	0,0008	A=0,0100+0,0008 (V−1)
Omnibus à trains suspendus sur six ressorts, en mauvais état.	Route royale n. 192, pavé sec.	0,0120	0,0017	A=0,0120+0,0017 (V−1)
Voitures à trains articulés, avec 6 roues.	Idem.	0,0080	0,0022	A=0,0080+0,0022 (V−1).
Voitures à trains articulés, avec 4 roues.	Idem.	0,0080	0,0020	A=0,0080+0,0020 (V−1).
Fourgon des Messageries Générales suspendu sur six ressorts.	Idem.	0,0080	0,0025	A=0,0080+0,0025 (V−1).

Nous ferons observer que les routes de Metz à Thionville et à Nanci, qui sont signalées ici comme mouillées et couvertes de boue liquide, étaient, sous ce rapport et sous celui de l'entretien, à très peu près au même état lors des expériences, et que la différence des valeurs du terme constant γ, qui sont $\gamma = 0,0120$ pour la première, et 0,0145 pour la seconde, peut être attribuée à ce que le fond de la route de Thionville, formée de gros cailloux, est peut-être plus ferme que celui de la route de Nanci.

75. *Comparaison des résultats de* 1838 *à ceux de* 1839. — Si nous comparons les résultats des expériences de 1839 à ceux de 1838, nous voyons que sur la route de Metz à Nanci, près Montigny, très sèche, entretenue avec de petits cailloux, on a eu, avec un affût de siége, $A = 0,0100 + 0,0020(V-1)$, et sur la route départementale n° 132, de Courbevoie à Bezons, sèche, avec un porte-corps d'artillerie, $A = 0,0130 + 0,0023(V-1)$.

On observera que, la route départementale n° 132 offrant quelques débris de matériaux, il n'est pas étonnant que la résistance au pas y soit un peu plus grande que sur celle de Metz à Nanci, tandis que, la surface des deux routes étant à peu près également unie, on trouve approximativement la même valeur 0,0020 à 0,0023 pour δ.

Quant au pavé, les expériences faites en 1838 ont été exécutées à la fin de novembre, après quelques jours de pluie, et le pavé était humide, ce qui le rendait plus mobile sous l'action de la voiture, augmentait un peu la valeur du terme constant, et l'avait élevé à 0,0092, tandis que, lors des expériences de 1839, le pavé de la route royale 192 était très sec, et n'a donné que $\gamma = 0,0080$.

Quant au coefficient δ du terme relatif à la vitesse, il est le même pour les trois voitures à trains suspendus; et pour les voitures à trains non suspendus, on retrouve en 1839, avec un fourgon, sur la route royale n° 192, pavée, la même valeur qu'on avait obtenue en 1838 sur le pavé de la rue Stanislas.

L'omnibus, dont les roues, en mauvais état, fléchissaient sous la charge, a donné, comme on l'a déjà remarqué, une résistance plus grande que les autres voitures suspendues dont les roues étaient en bon état; mais le coefficient δ du terme relatif à la vitesse a été trouvé le même que pour les autres voitures à trains suspendus.

76. *Influence de la suspension sur la résistance.* — Après avoir examiné l'influence de la vitesse sur les différents terrains, et pour une même sorte de voiture, comparons-la pour les voitures suspendues et celles qui ne le sont pas.

Pour tous les terrains mous, unis et compressibles, la suspension est sans influence, et la résistance est sensiblement indépendante de la vitesse.

Sur les routes dures et à la vitesse du pas, l'influence de la suspension paraît très faible, puisque l'on trouve, sur les routes en empierrement dures et sur le pavé, à peu près la même valeur de A pour les voitures les plus dures, tels que les affûts et charrettes, que pour les diligences le mieux suspendues.

Sur les routes en empierrement, nous voyons que l'influence de la vitesse ou la valeur du terme $\delta(V-1)$ diminue à mesure que la suspension devient plus parfaite; ainsi l'on a sur les routes en empierrement en bon état et sèches :

$\delta = 0{,}0030$ avec le chariot porte-corps d'artillerie, qui est une voiture très rigide,
$\delta = 0{,}0022$ avec la diligence, sur des routes en empierrement unies,
$\delta = 0{,}0008$ avec une voiture à trains suspendus.

La même graduation s'observe sur le pavé. On a, en effet, sur celui de Metz :

$\delta = 0{,}0057$ avec l'affût de siége,
$\delta = 0{,}0053$ avec l'appareil formant charrette,
$\delta = 0{,}0022$ avec la diligence;

et sur celui de Paris

$\delta = 0{,}0089$ avec le chariot des Messageries Générales non suspendu,
$\delta = 0{,}0025$ avec le même chariot suspendu sur six ressorts,
$\delta = 0{,}0020$ à $0{,}0022$ avec les chariots articulés à trains suspendus.

Ces résultats montrent donc d'une manière évidente les avantages de la suspension des voitures pour la diminution de la portion de la résistance qui dépend de la vitesse. L'omnibus et les voitures articulées employées aux expériences de 1839 avaient des trains et des roues à proportion beaucoup plus légères que le chariot des Messageries suspendu sur six ressorts; et par conséquent la portion du poids total qui jouissait de l'élasticité était plus grande à proportion pour les premiers véhicules que pour l'autre. C'est ce qui explique pourquoi la valeur δ est plus petite dans un cas que dans l'autre, et prouve que, pour les voitures qui marchent vite sur les routes pavées, il y a, sous le rapport de la diminution du tirage, avantage à rendre la suspension aussi complète que possible.

On voit, au surplus, que, pour les voitures suspendues, la résistance sur les bonnes routes, et sur un pavé bien régulier, n'augmente pas très rapidement avec la vitesse, mais qu'il n'en est pas de même sur les routes dure

avec cailloutage à fleur du sol. On déduit, en effet, des résultats précédents les valeurs suivantes du coefficient A :

VOITURES EMPLOYÉES.		VALEURS DU COEFFICIENT A.					
Vitesses.	en mètres, en 1''.	m. 1,00	m. 1,50	m. 2,00	m. 2,50	m. 3,00	m. 3,50
	en lieues, à l'heure.	lieues. 0,90	lieues. 1,35	lieues. 1,80	lieues. 2,25	lieues. 2,70	lieues. 3,15
Diligences.	Route de Metz à Nanci, un peu humide.	k. 0,0120	k. 0,0125	k. 0,0130	k. 0,0135	k. 0,0140	k. 0,0145
	Route de Metz à Nanci, mouillée.	0,0140	0,0151	0,0162	0,0173	0,0184	0,0200
	Route de Thionville, mouillée.	0,0120	0,0139	0,0158	0,0177	0,0196	0,0215
Calèche de M. Ehrler.	Route de Thionville, à peu près sèche.	0,0140	0,0151	0,0162	0,0173	0,0184	0,0200
Voitures à trains articulés et suspendus.	Route de Courbevoie à Bezons, très sèche.	0,010	0,0104	0,0108	0,0112	0,0116	0,0120
Voitures à trains suspendus.	Pavé en grès de Fontainebleau.	0,0080	0,0091	0,0102	0,0113	0,0124	0,0135
Fourgon des Messageries suspendu.	Pavé en grès de Fontainebleau.	0,0080	0,0093	0,0105	0,0118	0,0130	0,0142
Diligence.	Pavé de Metz.	0,007	0,0083	0,0094	0,0105	0,0116	0,0127

77. Il est à remarquer, dans ces résultats, que la résistance totale éprouvée par les voitures suspendues, sur le pavé en grès de Sierk, est beaucoup moindre au petit pas, à la vitesse d'un mètre, que sur les meilleures routes en empierrement, et qu'à la vitesse de 3m,50 en 1'', ou 3lieues,15 à l'heure, elle lui est au plus égale, tandis que, dès que les routes en empierrement commencent à être mouillées, ou à offrir des cailloux à fleur du sol, cette résistance y devient de suite beaucoup plus grande que sur le pavé.

On ne sera pas étonné de cette conséquence si l'on observe que le pavé en grès de Sierck, sur lequel on a opéré, est parfaitement exécuté et composé de petites pierres de 0m,08 à 0m,10 de large environ sur 0m,12 à 0m,15 de longueur, taillées carrément, et que, malgré ses inégalités apparentes, il offre en réalité aux voitures un sol beaucoup plus uni que les routes en empierrement où il y a des cailloux à fleur de sol, quoique celles-ci paraissent plus roulantes : car un caillou en saillie de 0m,03 à 0m,04 seulement produit un choc bien plus sensible que le passage d'un pavé à l'autre, attendu que les roues posent toujours sur les points les plus élevés des pavés, et que les différences de niveau de ces divers points sont très faibles sur les chaussées pavées en bon état.

78. *Avantages des routes pavées.* — Il èn est encore à peu pres de même sur le pavé de Paris en grès de Fontainebleau, lorsqu'il est en bon état, puisque nous voyons qu'à la vitesse de 3 mètres en 1″, ou 2,70 lieues à l'heure, la valeur de A est égale à 0,0142 sur ce pavé, et qu'elle est de 0,0120 sur une route sèche, et de 0,0200 sur une route mouillée.

Ainsi, aux allures vives, la résistance éprouvée par les voitures suspendues, sur un bon pavé, n'est pas sensiblement supérieure à celle qui serait occasionnée par une route en empierrement en bon état; et, si l'on observe que cette résistance est à très peu près la même en toute saison sur le pavé, tandis qu'en hiver elle augmente beaucoup sur les routes en empierrement, on reconnaîtra les avantages du premier mode de construction des routes. Mais, pour qu'ils soient aussi grands que nous l'avons trouvé, on ne doit pas perdre de vue que le pavé doit être dur, bien posé et bien serré.

79. *Supériorité du pavé de Metz sur celui de Paris.* — Si l'on compare la valeur de $\delta = 0{,}0057$, obtenue sur le pavé de Metz avec l'affût de siége, à celle $\delta = 0{,}0089$, qui a été fournie par le pavé de Paris avec le chariot non suspendu des Messageries Générales, on reconnaîtra combien le pavé dur, égal et serré, employé dans la première ville, est supérieur à celui de la seconde, et combien celui-ci aurait besoin d'être amélioré.

80. *Avantage de la suspension des trains.* — Il est à remarquer que, malgré cette infériorité du pavé de Paris, on n'a trouvé sur ce pavé que $\delta = 0{,}0025$ pour le chariot à trains suspendus des Messageries, tandis que sur celui de Metz on a obtenu $\delta = 0{,}0022$ avec la diligence des mêmes Messageries dont les trains ne sont pas suspendus. Ainsi l'avantage de la suspension des trains a compensé l'excès d'inégalité du pavé de Paris. On voit donc que ce genre de construction est favorable à l'économie de la puissance motrice en même temps qu'à la conservation des voitures.

81. *Les routes entretenues avec de très petits matériaux souffrent moins que les autres de la rapidité des transports.* — La perte de vitesse éprouvée par une voiture est toujours en rapport avec l'intensité du choc qui la produit, et, par conséquent, avec l'effort exercé pendant ce choc sur l'obstacle ou sur les matériaux de la route. Les effets de désagrégation doivent donc croître en même temps que les pertes de vitesse ou les valeurs du terme $\delta\,(V-1)$. Il suit de cette observation que les routes entretenues avec des matériaux de petites dimensions sont celles qui souffrent le moins de la rapidité des transports.

82. *Dans l'intérêt de la conservation des routes, on ne doit pas tolérer de services de messageries non suspendues.* — De plus, la grande valeur qu'atteint le terme $\delta\,(V-1)$ avec les voitures non suspendues, sur les routes en empier-

rement, et à plus forte raison sur les routes pavées, même quand elles sont très sèches et en très bon état, fait voir que, dans l'intérêt de la conservation des routes, il ne faut pas tolérer de service de messageries ou de transport par voitures non suspendues allant au trot, même quand l'élasticité de leurs brancards tendrait à en diminuer un peu les inconvénients.

83. *La suspension doit être d'autant plus parfaite que les voitures doivent marcher plus vite.* — Nous avons vu que l'influence des chocs diminuait à mesure que la suspension était plus parfaite, et, comme elle croît, au contraire, avec la vitesse, il s'ensuit que les voitures les plus rapides devraient être les mieux suspendues. Le service public des malles-postes devrait donc dans l'intérêt de la conservation des routes, recevoir, dans l'élasticité de sa suspension, des améliorations proportionnées à celles qu'il acquiert chaque jour dans sa rapidité.

84. *Valeur du coefficient* A *de la formule du* n° 38 *en fonction de la largeur de la bande de roue et de la vitesse.* — Pour lier entre eux les résultats des diverses séries d'expériences que nous venons de discuter, tant sur l'influence de la largeur des jantes que sur celle de la vitesse de transport, nous remarquerons d'abord que, dans toutes celles qui ont été faites sur des terrains mous, la vitesse étant sans influence, on a $\delta=0$, et que la valeur de γ est celle qui a été trouvée pour A en fonction de la largeur de jante. On a donc

$$\gamma=a+\alpha(l'-l).$$

Il est encore de même pour les expériences sur les terrains durs, attendu que les expériences sur l'influence de la largeur des jantes ont été faites à la vitesse moyenne d'un mètre par seconde, ce qui donne $V-1=0$.

Par conséquent, l'expression générale du coefficient A sera

$$A=a+\alpha(l'-l)+\delta(V-1).$$

On a trouvé pour les divers terrains les valeurs suivantes de a et de α correspondantes aux formules du n° 62 :

DÉSIGNATION DU TERRAIN.	VALEURS de	
	a	α
Sable mêlé de gravier fin sur une épaisseur de 0^{m},10 à 0^{m},15.	0,0642	0,1280
Pelouse de gazon, terre molle et humide.	0,0441	0,0680
Gazon sec	0,0242	0,0453
Chemin en gravier uni, mais peu fréquenté et humide.	0,0308	0,0072
Route en empierrement ferme.	0,0100	0,00000
Chaussée pavée en grès quartzeux de Sierk, à Metz.	0,0072	0,00000
Chaussée pavée en grès de Fontainebleau, à Paris	0,0080	0,00000

Si, à l'aide de ces valeurs de a et de α, nous calculons celles que prendrait A à la vitesse d'un mètre, et pour des largeurs respectives de jantes de 0^{m},07, de 0^{m},12 et de 0^{m},17, qui comprennent à peu près les cas extrêmes de la pratique, nous aurons les valeurs contenues dans le tableau suivant.

DÉSIGNATION DU TERRAIN.	VALEUR DE A POUR DES LARGEURS DE JANTES de		
	^{m},07	0^{m},12	0^{m},017
Sable fin mêlé de gravier, sur une épaisseur de 0^{m},10 à 0^{m},15. . .	0,0810	0,0744	0,0682
Gazon humide sur un sol mou.	0,0516	0,0482	0,0448
Gazon sec sur un sol ferme.	0,0328	0,0305	0,0283
Chemin en gravier uni, humide, peu fréquenté.	0,0319	0,0315	0,0312
Route en empierrement, en bon état, sèche.	0,0100	0,0100	0,0100
Chaussée pavée en grès quartzeux de Sierck.	0,0072	0,0072	0,0072
Chaussée pavée en grès de Fontainebleau.	0,0080	0,0080	0,0080

L'examen de ce tableau montre que l'augmentation de la largeur des jantes entre les limites adoptées jusqu'ici par la pratique n'a d'influence notable pour la diminution de la résistance que dans les terrains mous ou mobiles; mais que, dès que le sol devient ferme, comme celui des routes ordinaires, la résistance varie très peu entre ces limites de largeur.

85. *Accord des expériences de divers auteurs avec les précédentes.* — Les nombreux résultats d'expériences que nous avons rapportés, et leur représentation graphique, ont mis en évidence, d'une manière qui nous semble incontestable, la loi approximative de l'accroissement de la résistance proportionnellement à celui de la vitesse. Cette loi n'étant pas celle qui a été déduite par divers auteurs des expériences faites par MM. Edgeworth, de Rumford et J. Macneill, j'ai cherché à comparer ces résultats avec ceux que j'avais obtenus, et, à cet effet, employant toujours la méthode si commode des tracés, j'ai de suite reconnu que toutes ces expériences conduisaient à la conséquence que j'avais déduites des miennes. C'est ce qu'il est facile de montrer.

Les expériences de M. Edgeworth ont été faites avec un modèle de voiture mu par des poids sur un plan horizontal de 75 pieds anglais de longueur, sur lequel on avait fixé une trentaine de petits liteaux pour former des obstacles. Le mouvement de descente des poids moteurs était régularisé par l'action d'un volant, et l'on déterminait à l'avance la portion de ce poids qui était nécessaire à chaque vitesse pour vaincre les résistances passives de l'appareil, et, en la déduisant de la totalité, on obtenait le poids qui suffisait pour entretenir le mouvement de la voiture. Ce modèle pouvait à volonté être suspendu sur ressorts ou devenir rigide. Les résultats de ces expériences, extraits de l'ouvrage de M. Edgeworth (2e édition, pag. 114 et suivantes), sont résumés ci-dessous.

EXPÉRIENCES *de M. Edgeworth sur la variation de la résistance en fonction de la vitesse et sur l'influence des ressorts.*

VITESSES en milles par heure.	RÉSISTANCE ÉPROUVÉE par la voiture	
	Suspendue.	Non suspendue.
milles	liv. avoir p.	liv. avoir p.
2	4 ½	6
3 ½	5	7 ½
5 ½	6	12

En représentant ces résultats, pl. III, fig. 20, on voit que pour l'un et l'autre cas les points dont les abscisses sont les vitesses en milles, et les or-

22

données les poids moteurs en livres, sont sensiblement en ligne droite, ce qui est d'accord avec mes expériences.

Le comte de Rumford (sir Benjamin Thompson) a présenté, en 1811, à la première classe de l'Institut les résultats des expériences qu'il avait exécutées avec une voiture suspendue sur la route de Passy à Sèvres. Son but principal était de reconnaître l'avantage que les larges jantes présentent, même sur le pavé; mais, comme il a fait varier la vitesse, ses expériences sont aussi intéressantes sur ce point de vue.

Les résultats en sont consignés dans la Bibliothèque britannique, année 1811, et sont rapportés dans l'avant-propos de ce mémoire. L'auteur n'y indique les vitesses que par l'allure; mais, nos expériences nous ayant fourni la vitesse moyenne correspondante à chaque allure, il nous est facile de remplir cette lacune, et nous adopterons pour vitesse du

Petit pas.	$1^m,25$,
Pas allongé	$1^m,55$,
Petit trot.	$2^m,40$,
Grand trot.	$3^m,65$.

Prenant ensuite ces vitesses pour abscisses, et les résistances observées par le comte de Rumford, à l'aide d'un dynamomètre à ressort et à aiguille, pour ordonnées, on peut construire les figures 21 et 22, pl. III : on reconnaît à leur inspection que la résistance sur le pavé a crû proportionnellement aux accroissements de la vitesse, puisque les points ainsi déterminés sont en ligne droite.

Les figures 21 sont relatives aux expériences faites sur la route pavée de Passy au pont de Sèvres, et les figures 22 à celles qui ont été exécutées sur l'accotement de cette route. Ces dernières montrent comme les nôtres que, sur les accotements, la résistance est à peu près indépendante de la vitesse.

Enfin M. J. Macneill a exécuté quelques expériences rapportées par M. Navier, qui en a traduit les résultats en mesures françaises. Elles ont été faites sur une diligence du poids de 914 kilogrammes, conduite sur une route en empierrement.

Expériences de M. J. Macneill sur le tirage d'une diligence sur une route en empierrement.

VITESSES en lieues à l'heure.	RÉSISTANCES en kilogrammes.
1	35
2,4	48
3,2	52

La représentation graphique de ces résultats, pl. III, fig. 23, montre encore la même relation entre la vitesse et la résistance.

Ainsi les expériences déjà connues sont complétement d'accord avec celles que j'ai exécutées; et quoique ces dernières, nombreuses et variées, faites avec des instruments plus précis que ceux qui ont été employés par les autres observateurs, me paraissent concluantes, il n'en était pas moins utile de montrer cette coïncidence.

Il est singulier qu'une loi si simple, si bien manifestée par les résultats de l'expérience, n'en ait pas été déduite, et l'on ne peut l'attribuer qu'à l'usage où sont beaucoup de personnes de chercher à lier les données de l'expérience par le calcul avant de les représenter par des tracés qui, outre l'avantage de les soumettre à la continuité et de faire découvrir les anomalies, ont aussi celui de montrer souvent de suite les lois des phénomènes observés.

86. *Observations relatives aux expériences du comte de Rumford.* — Puisque j'ai parlé des expériences du comte de Rumford sur l'avantage des jantes larges sur le pavé, je dois faire remarquer qu'elles ont été faites avec des bandes de roue de 4po, 2 po 3li et 1po 9li. Il est bon de faire observer que sur le pavé de Paris, et surtout sur celui des routes voisines de cette ville, les roues très étroites descendent sans cesse, soit dans le sens du mouvement, soit dans le sens transversal, dans les intervalles de ces pavés, tandis que des roues un peu plus larges ne peuvent atteindre le fond de ces intervalles, ce qui empêche la voiture d'éprouver des chocs aussi violents. Mais cet effet n'a lieu, comme on le voit, que jusqu'à une certaine limite de largeur, d'autant plus rapprochée que le pavé est plus égal et mieux posé, et passé laquelle la largeur de la jante tendrait plutôt à augmenter la résistancee par l'effet du glissement des roues sur le pavé, comme on l'a dit au no 64.

87. *Simplification de la valeur du coefficient* A *de la résistance pour les routes ordinaires.* — D'après les observations précédentes, on voit donc que, sur les routes ordinaires, l'expression de la résistance, à la vitesse d'un mètre en une seconde, pourra être simplifiée en adoptant pour γ sa valeur relative aux jantes de $0^m,12$ comme une moyenne. Les autres expériences sur le tirage ayant été faites généralement avec des jantes de $0^m,10$ à $0^m,11$, et sur des routes en empierrement et sur le pavé, nous pourrons ainsi réduire pour toutes les largeurs voisines de ces dimensions la valeur de A à

$$A=\gamma+\partial(V-1).$$

Nous réunirons plus tard dans un seul tableau les diverses valeurs de γ selon les largeurs de jantes, ainsi que celles de ∂, ce qui permettra de calculer pour chaque cas celle du coefficient A.

88. *Equation approximative du mouvement d'une voiture dans les cas ordinaires.* — Il sera donc facile, pour chaque sol et chaque vitesse de transport, de calculer la résistance au roulement éprouvée par les diverses voitures, quand on connaîtra leur charge, les dimensions des roues et la répartition du chargement sur les essieux, puisque les formules admises au n° 38 sont vérifiées avec une exactitude suffisante pour la pratique, et qu'on a pour les voitures à quatre roues

$$R=A\left(\frac{P'_1}{r'}+\frac{P''_1}{r''}\right),$$

et pour les charrettes

$$R=\frac{P+p}{r}=A\frac{P_1}{r}.$$

Par conséquent, dans l'expression générale de l'effort que le moteur doit exercer dans le sens parallèle au plan du terrain pour traîner la voiture (n° 35),

$$F\cos\alpha=A\left(\frac{P'+p'}{r'}+\frac{P''+p''}{r''}\right)\pm(P+p'+p'')\frac{h}{L}+\frac{f'\rho'P'}{r'}+\frac{f''\rho''P''}{r''},$$

on connaîtra toutes les quantités nécessaires pour le déterminer, puisque la pente du terrain doit être donnée, et qu'on a les valeurs de f', f'', ρ', ρ'', r', r'', P', P'', p', p'', ainsi que l'angle α du tirage.

89. *Influence de l'inclinaison des traits.* — Pour compléter ce qui est relatif à la traction proprement dite des voitures, il nous reste à examiner l'influence de l'inclinaison des traits par rapport au terrain.

A cet effet, on a disposé l'avant-train d'une pièce de siége de 16 de manière que le timon pût, en restant à la même hauteur à son extrémité antérieure, s'abaisser à volonté à son extrémité postérieure et prendre plusieurs inclinaisons différentes. Le dynamomètre étant fixé au timon lui-même, le tirage

était parallèle à cette pièce, et l'on obtenait ainsi des angles de traction qui ont été successivement de

$$1^\circ\,35',\ 3^\circ\,35',\ 6^\circ\,30',\ 8^\circ\,30',\ 11^\circ,\ 13^\circ\,30'.$$

On a fait marcher cette voiture sur le sol du polygone, couvert de gazon, et encore un peu humide, son poids, sa vitesse et toutes les autres circonstances restant d'ailleurs les mêmes.

Pour calculer les résultats de ces expériences, on a employé la formule suivante, déduite de celle du n° 35 :

$$\text{(A)}\quad F\cos\alpha L = (R'+R'')L' + 0{,}96\,\frac{f\rho L}{r}(P'+P''-F\sin\alpha) + \frac{0{,}4 f\rho L}{r}F\cos\alpha,$$

en observant que, pour cette voiture, on a $\rho'=\rho''=0^m{,}038$; $r'=r''=0^m{,}782$; $f=0{,}065$; et que, le terrain étant horizontal, on avait $h=0$ et $i=0$.

Or, avant d'aller plus loin, nous ferons remarquer qu'attendu la petitesse du terme $\frac{0{,}4f\rho}{r}=0{,}00252$, on peut évidemment négliger le dernier terme de cette expression, et réduire la valeur de $R'+R''$ qu'on en tire à

$$R'+R''=F\cos\alpha-\frac{0{,}96f\rho}{r}(P'+P''-F\sin\alpha);$$

et, d'un autre côté, nous savons que

$$R'+R''=A\left(\frac{P'_1-F\sin\alpha}{r'}+\frac{P''_1}{r'}\right)=\frac{A(P_1-F\sin\alpha)}{r'}.$$

On a donc

$$A=\frac{F\cos\alpha-0{,}96\frac{f\rho}{r}(P'+P''-F\sin\alpha)}{\frac{P_1-F\sin\alpha}{r'}}=\frac{F\cos\alpha-0{,}00299\,(P'+P''-F\sin\alpha)}{\frac{P_1-F\sin\alpha}{r'}}.$$

En substituant dans cette expression les données relatives à chaque expérience, on en déduit les valeurs correspondantes de A.

90. Les données et les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE ou appareil employé.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant $2r''$	DIAMÈTRES des roues de derrière $2r'$	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P	NOMBRE de chevaux.	ALLU
			m.	m.	m.	m.	k.		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
	Sol du polygone de Metz, gazon un peu humide, sur un sol homogène.	Affût de 16 avec sa pièce.	157	1,564	1,564	0,100	3715	4	Pa
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									

Effort moyen du moteur dans le sens de traction F	parallèlem[t] au plan de la route F cos α	perpendic. au plan de la route F sin α	Effort employé à vaincre la gravité.	Résistance au roulement R	Valeur du coefficient A	Données et formules employées.	Observations.
k.	k.	k.	k.	k.			
74,0	171,0	4,27	9,42	161,58	0,0341	$\sin\alpha = 0{,}0247$, $\cos\alpha = 0{,}9997$.	
74,5	171,4	4,29	9,42	161,98	0,0341	$\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r'} = 4745$.	
83,0	183,0	4,57	9,42	173,58	0,0366		
				Moyenne	0,0349		
77,5	177,0	10,55	9,35	167,65	0,0334	$\sin\alpha = 0{,}0596$, $\cos\alpha = 0{,}9982$.	
70,3	170,0	10,13	9,35	160,85	0,0340	$\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r'} = 4737$.	
78,0	177,0	10,60	9,35	167,65	0,0354		
				Moyenne	0,0349		
185,0	184,0	20,9	9,28	174,72	0,0370	$\sin\alpha = 0{,}1132$, $\cos\alpha = 0{,}9936$.	
184,0	183,0	20,9	9,28	173,72	0,0367	$\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r} = 4724$.	
171,8	171,0	19,9	9,28	161,72	0,0340		
				Moyenne	0,0359		
177,0	175,2	26,2	9,26	165,94	0,0352	$\sin\alpha = 0{,}1478$, $\cos\alpha = 0{,}9890$.	
179,5	177,5	26,5	9,26	167,94	0,0356	$\frac{P_1 - F\sin\alpha}{r'} = 4717$.	
171,5	170,0	25,1	9,26	160,94	0,0341		
				Moyenne	0,0349		
179,0	176,2	31,1	9,22	166,78	0,0353	$\sin\alpha = 0{,}1736$, $\cos\alpha = 0{,}9848$.	
174,5	172,0	30,3	9,22	162,78	0,0346	$\frac{P^1 - F\sin\alpha}{r'_1} = 4711$.	
				Moyenne	0,0349		
168,0	160,7	39,1	9,18	150,52	0,0320	$\sin\alpha = 0{,}2334$, $\cos\alpha = 0{,}9724$.	Le sol était un peu plus ferme en cet endroit.
164,5	156,2	36,4	9,18	146,52	0,0311	$\frac{P_2 - F\sin\alpha}{r'} = 4704$.	
159,2	151,9	35,5	9,18	141,52	0,0301		
				Moyenne	0,0310		

91. *Observations sur les résultats consignés dans le tableau précédent.* — L'accord de toutes les valeurs de A aux diverses inclinaisons, et la constance de l'effort exercé par les chevaux dans le sens propre du tirage, montrent que la décomposition et la répartition de l'effort moteur se font exactement comme on l'a établi dans la formule précédente, ce qui permet de discuter les effets de l'inclinaison du tirage d'après cette formule elle-même, comme nous le ferons voir tout à l'heure.

Maintenant nous ferons remarquer que le travail utile, sous le point de vue du transport, est représenté par

$$F \cos \alpha L,$$

ou par le produit du chemin parcouru par le point d'application et de la composante de l'effort parallèle au sol, ou, ce qui revient au même, par le produit de l'effort et de la projection du chemin parcouru sur sa direction.

92. *Condition du maximum d'effet.* — Si l'on recherche les conditions du maximum d'effet en différenciant l'équation A du n° 89, en y remplaçant $R' + R''$ par sa valeur $\frac{A(P_1 - F \sin \alpha)}{r}$, on trouve

$$\sin \alpha \left(1 - \frac{0,4f\rho}{r}\right) = \cos \alpha \left(\frac{A}{r} + \frac{0,96f\rho}{r}\right),$$

d'où

$$\text{tang}\, \alpha = \frac{A + 0,96f\rho}{r - 0,4f\rho};$$

ce qui nous montre que, pour une voiture donnée, l'angle α doit être d'autant plus grand que la quantité A l'est elle-même davantage.

En appliquant cette formule au cas des expériences précédentes, où l'on a

$$r = 0^{m},782, \quad f = 0,065, \quad \rho = 0^{m},038, \quad A = 0,0349,$$

on trouve

$$\text{tang}\, \alpha = 0,0478 = \frac{1}{20,9},$$

d'où l'on voit que, dans ce même cas, le tirage doit être très peu incliné.

Pour une route en empierrement où l'on aurait eu, par exemple, $A = 0,015$, on trouverait

$$\text{tang}\, \alpha = 0,022 = \frac{1}{45,5}.$$

Ce qui est à peu près la valeur adoptée pour l'artillerie de siége, qui est destinée à voyager sur les grandes routes.

Il ne nous paraît pas nécessaire de pousser plus loin cette discussion, et nous nous bornerons simplement à en conclure que l'inclinaison du tirage dépend principalement de la valeur du rapport $\frac{A}{r}$; mais qu'entre les limites dans lesquelles elle doit être renfermée, elle a peu d'influence sur le tirage, et que, dans les cas ordinaires, elle doit être très faible.

93. *Observation sur les conditions qui déterminent ordinairement l'inclinaison du tirage.* — Ce n'est pas, au reste, par des considérations du genre de celles que nous venons de rappeler, que l'inclinaison des traits est habituellement déterminée. Elle résulte presque toujours des dimensions de l'avant-train, du rayon, et surtout, pour les voitures à deux roues, de la condition à peu près obligatoire d'en faire passer la direction prolongée aussi près que possible de l'essieu.

On sent, en effet, que dans ces dernières voitures, si la direction des trait s passait beaucoup au dessus de l'essieu, l'effort de traction produirait sur e reins du cheval de brancard une pression d'autant plus grande que cet effort serait lui-même plus considérable, ce qui fatiguerait beaucoup l'animal dans les mauvais chemins.

Quant aux voitures à avant-train, l'éloignement de la direction du tirage, du dessus ou du dessous de l'essieu, produit sur la sassoire ou sur la jante de rond une pression qui tend à soulever l'extrémité antérieure du train de derrière, et à produire dans cette partie, et surtout dans le timon, des oscillations fâcheuses.

On voit donc qu'en général, dans toutes les voitures fortement chargées, où l'on doit ménager les forces des animaux, il convient de faire passer la direction du tirage aussi près que possible de l'essieu, tout en l'inclinant le moins qu'on peut à l'horizon. On doit néanmoins observer qu'il est nécessaire, dans le tirage ordinaire, que les traits soient un peu inclinés au dessus de l'horizontale, afin que, dans le cas où l'effort devient accidentellement très grand, et où les chevaux abaissent le poitrail, cette direction ne soit jamais en contre-pente, et devienne au plus horizontale.

Au surplus, comme on a vu qu'il était très important d'adopter, pour les roues, de grands diamètres, on sera par là naturellement conduit à donner au tirage une direction voisine de l'horizontale. C'est ainsi que, dans l'artillerie nouvelle, par l'adoption de roues de devant égales à celles de derrière, on est arrivé à satisfaire à la fois à toutes les conditions nécessaires.

94. *Résultats de quelques expériences sur divers sols.* — Nous ajouterons aux tableaux précédents les résultats de quelques autres expériences faites sur des routes à différents états, sur un tablier de pont, et sur une route couverte de neige.

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE parcourue.	DIAMÈTRES des roues de devant. 2r'	DIAMÈTRES des roues de derrière. 2r''	LARGEUR des jantes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLUR
			m.	m.	m.	m.	k.	k.	k.		
1	Route de la gorge du fort Belle-Croix, en empierrement en bon état, très peu de cailloux à fleur du sol, mouillée, couverte de boue, un peu tirante.	Appareil avec arbre en fonte.	50	0,787	»	0,135	1025,68	80	»	1	Pas
2			50								
3			50								
4			40								
5			50								
6			100								
7		Même appareil avec roues de 12 de campagne.	80	1,482	»	0,074	2163,2	70,4	»	2	Pas
8			80								
9			80								
10	Même route, sur une partie fatig., boueuse; le cailloutage ayant été mis à nu par le passage de nombreux tombereaux pend[t] six semaines.	Idem.	80	1,482		0,074	2163,2	70,4	»	1	Pas
11			60								
12			70								
13			90								
14			80								
15	Tablier en madriers du pont suspendu de Chambière.	Idem.	48	1,482	»	0,074	2163,2	70,4	»	2	Pas
16			48,25								
17	Route de Thionville, sur l'accotement, couverte de neige, non frayée sur une épaisseur de 0^{m},13.	Chariot à munitions.	300	1,15	1,584	0,070	2746,0	1207,5	1207,5	4	Pas
18							2746,0	1207,5	1207,5		
19							2616,0	1142,5	1142,5		
20							2616,0	1142,5	1142,5		
21	Même route, au milieu de la chaussée, sur la neige frayée.	Idem.	300	1,15	1,584	0,070	2746,0	1207,5	1207,5	4	Pas
22											
23											

VITESSE V	PENTE par mètre courant $\frac{h}{L}$	NOMBRE de tours de la roulette correspond^t à la distance parcourue.	EFFORT exercé par le moteur	EFFORT employé à vaincre la gravité.	le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement R	VALEUR du coefficient A	DONNÉES et formules employées.	OBSERVATIONS.
m. 1,13	m. 0,0271	»	k. 65,1	k. 27,8	k. »	k. 37,3	0,0143	$\frac{P_1}{r'} = 2610.$	
1,28	0,0343	»	76,1	35,2	»	40,9	0,0153		
1,22	0,0316	»	76,8	32,4	»	44,4	0,0171		
1,17	0,0095	»	52,7	9,7	»	43,0	0,0166		
1,19	0,0167	»	57,7	17,1	»	40,6	0,0156		
1,22	0,0148	»	50,5	15,0	»	35,5	0,0137		
						Moyenne	0,0155		
1,45	0,0344	»	10,0	74,5	»	45,5	0,0155	$\frac{P_2}{r'} = 2920.$	
1,43	0,0136	»	73,8	29,4	»	44,4	0,0151		
1,32	0,0227	»	91,5	49,0	»	42,5	0,0145		
						Moyenne	0,0150		
1,30	0,0121	»	108,2	26,2	»	82,0	0,0279		
1,39	—0,0121	»	72,0	— 26,2	»	98,2	0,0334		
1,40	—0,0018	»	61,6	3,9	»	65,5	0,0223		
1,25	0,0120	»	110,8	26,0	»	84,8	0,0289		
1,34	—0,0120	»	68,4	— 26,0	»	94,4	0,0322		
						Moyenne	0,0289		
1,27	0,0000	»	38,7	»	»	38,7	0,0132		
1,41	0,0000	»	31,7	»	»	31,7	0,0108		
						Moyenne	0,0120		
1,50	—0,0008	»	174,2	— 2,1	7,6	168,4	0,0408	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 4130.$	
1,50	0,0021	»	172,3	5,8	7,6	158,9	0,0385	Idem.	
1,50	0,0005	»	173,8	1,2	7,6	165,0	0,0422	$\frac{P_2'}{r'} + \frac{P_2''}{r''} = 3920.$	
1,50	0,0000	»	162,8	0,0	7,6	155,2	0,0392		
						Moyenne	0,0402		
1,50	0,0005	»	158,3	1,2	7,6	149,1	0,0362	$\frac{P_1'}{r'} + \frac{P_1''}{r''} = 4130.$	
1,50	0,0008	»	147,2	1,0	7,6	138,6	0,0336		
1,50	0,0002	»	152,4	0,6	7,6	144,2	0,0350		
						Moyenne	0,0346		

93. *Résumé des résultats contenus dans tous les tableaux précédents.* — On a réuni dans le tableau suivant tous les résultats des expériences contenues dans ce Mémoire, et ceux de l'application de la formule

$$\frac{T}{P_1}=\frac{2(A+f\rho)}{r'+r''}.$$

du n° 55, qui donne la valeur approchée du rapport du tirage horizontal en terrain de niveau pour les diverses voitures en usage, marchant au pas.

On y a joint la valeur du même rapport, calculée pour quelques voitures allant au trot ordinaire, à une vitesse que l'on a supposée de 3 mètres en 1 seconde, ou de 2,7 lieues à l'heure, et au grand trot, à la vitesse de 4 mètres en 1″, ou 3,6 lieues à l'heure.

Pour faire ces calculs, on a supposé aux boîtes de roues des rayons moyens de 0m,038 pour les voitures d'artillerie, de 0m,027 pour les chariots comtois et les voitures ordinaires suspendues, et de 0m,032 pour les chariots et charrettes de roulage, ainsi que pour les grandes diligences; enfin, on a pris $f=0,065$, ce qui correspond à des boîtes bien graissées.

La valeur de A a été calculée pour chaque voiture d'après celles de $a+\alpha$ $(0,280-l)$ et de δ, qui sont consignées dans le même tableau et résultent directement de l'expérience.

DÉSIGNATION ET ETAT DE LA ROUTE PARCOURUE par les voitures.		VALEUR DU TERME indépendant de la vitesse $a+\alpha\,(0{,}230\,l)$ pour des largeurs de jantes			VALEUR DU TERME dépendant de la vitesse $\delta(V-1)$	[illegible]
		$l=0^m{,}070$	$l=0^m{,}12$	$l=0^m{,}17$		
Pelouse couverte de gazon sur un sol en terre homogène, détrempé par la fonte des neiges, très humide, sans eau apparente.		0,0840	»	»	0	
Même sol un peu moins mou.		0,0516	0,0482	0,0448	0	
Même sol, moins mou.		»	0,0356	»	0	
Même sol, ferme.		0,0337	0,0314	0,0292	0	
Même sol, très sec.		»	0,0259	»	0	
Accotement en terre, en très bon état, à peu près sec. . .		»	0,0200	»	0	
Accotement solide, recouvert d'une couche de gravier de $0^m{,}03$ à $0^m{,}04$ d'épaisseur.		»	0,0550	»	0	
Accotement solide, recouvert d'une couche de gravier de $0^m{,}05$ à $0^m{,}06$ d'épaisseur.		»	0,0650	»	0	
Sol en terre ferme, recouvert de $0^m{,}10$ à $0^m{,}15$ de gravier, ou route neuve		»	0,0700	»	0	
Accotement ou route couverte de neige, non frayée		»	0,0400	»	0	
Sol en terre ferme, recouvert d'une couche de sable fin mêlé de gravier de $0^m{,}10$ à $0^m{,}15$ d'épaisseur		0,0810	0,0744	0,0582	0	
Route en empierrement.	En très bon état, très sèche et très unie. .	»	0,0100	»	Voiture non suspendue 0,0020 Diligences 0,0010 Voitures à doubles ressorts 0,	Pas. Grand trot
Route en empierrement.	Un peu humide ou couverte de poussière, avec quelques cailloux à fleur du sol	»	0,0450	»	Diligences et voitures suspendues 0,0022	
Route en empierrement.	Très solide, avec gros cailloux à fleur du sol, mouillée	»	0,0120	»	Diligences 0,0038	
Route en empierrement.	Solide, avec frayé léger et boue molle . .	»	0,0200	»	Diligences 0,0022	

…RIOTS …illerie …70 à 0m,075 …m,038 …m,575 …0m,780 …=1m,355 …0,00247	CHARIOTS COMTOIS l=0m,06 à 0m,07 ρ=0m,027 r'=0m,625 r''=0m,725 $r'+r''$=1m,35 $f\rho$=0,00175	CHARIOTS DE ROULAGE l=0m,10 à 0m,12 ρ=0m,032		CHARRETTES l=0m,10 à 0m,12 ρ=0m,032		DILIGENCES des Messag. Roy. et Générales l=0m,10 à 0m,12 ρ=0m,032 $r'+r''$=1m,15 $f\rho$=0,00208	VOITURES à rains susp. l=0m,07 à 0m,08 ρ=0m,027 r'=0m,45 r''=0m,70 $r'+r''$=1m,15 $f\rho$=0,00175
		r'=0m,450 r''=0m,750 $r'+r''$=1m,20 $f\rho$=0,00208	r'=0m,550 r''=0m,850 $r'+r''$=1m,40 $f\rho$=0,00208	r'=0m,80 $f\rho$=0,00208	r'=1m,00 $f\rho$=0,00208		
$\frac{1}{7,8}$	»	»	»	»	»	»	»
$\frac{1}{12,5}$	»	»	»	»	»	»	»
»	»	»	»	»	»	»	»
$\frac{1}{20,0}$	»	»	»	»	»	»	»
$\frac{1}{23,9}$	»	»	»	»	»	»	»
$\frac{1}{30,1}$	$\frac{1}{31,1}$	$\frac{1}{27,2}$	$\frac{1}{31,7}$	$\frac{1}{36,3}$	$\frac{1}{45,4}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{26,1}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{26,4}$
$\frac{1}{11,8}$	$\frac{1}{11,9}$	$\frac{1}{10,5}$	$\frac{1}{12,3}$	$\frac{1}{14,0}$	$\frac{1}{17,5}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{10,1}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{10,1}$
$\frac{1}{10,1}$	$\frac{1}{10,1}$	$\frac{1}{8,9}$	$\frac{1}{10,4}$	$\frac{1}{11,9}$	$\frac{1}{14,9}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{8,6}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{8,8}$
$\frac{1}{9,3}$	$\frac{1}{9,4}$	$\frac{1}{8,3}$	$\frac{1}{9,7}$	$\frac{1}{11,1}$	$\frac{1}{13,9}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{8,0}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{8,0}$
$\frac{1}{16,0}$	$\frac{1}{16,2}$	$\frac{1}{14,3}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{19,0}$	$\frac{1}{23,8}$	..... $\frac{1}{13,7}$	
$\frac{1}{8,1}$	$\frac{1}{8,9}$	$\frac{1}{7,9}$	$\frac{1}{9,2}$	$\frac{1}{10,5}$	$\frac{1}{13,10}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{7,5}$	Au pas et au trot } $\frac{1}{6,9}$
$\frac{1}{54,3}$	$\frac{1}{57,5}$	$\frac{1}{49,9}$	$\frac{1}{58}$	$\frac{1}{66,2}$	$\frac{1}{82,8}$	Au pas $\frac{1}{47,6}$ Au trot $\frac{1}{40,9}$ Grand trot $\frac{1}{39,7}$	Au pas $\frac{1}{49}$ Au trot $\frac{1}{41,3}$ Grand trot $\frac{1}{40,6}$
$\frac{1}{38,7}$	$\frac{1}{40,3}$	$\frac{1}{35,2}$	$\frac{1}{41}$	$\frac{1}{47,0}$	$\frac{1}{58,6}$	Pas $\frac{1}{33,7}$ Trot $\frac{1}{26,8}$ Grand trot $\frac{1}{24,3}$	Pas $\frac{1}{34,3}$ Trot $\frac{1}{27,2}$ Grand trot $\frac{1}{24,6}$
$\frac{1}{46,8}$	$\frac{1}{49,1}$	$\frac{1}{42,8}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{56,9}$	$\frac{1}{71,0}$	Pas $\frac{1}{40,8}$ Trot $\frac{1}{26,5}$ Grand trot $\frac{1}{22,6}$	Pas $\frac{1}{41,8}$ Trot $\frac{1}{27,0}$ Grand trot $\frac{1}{22,8}$
$\frac{1}{30,1}$	$\frac{1}{31,0}$	$\frac{1}{27,2}$	$\frac{1}{34,7}$	$\frac{1}{36,2}$	$\frac{1}{45,2}$	Pas $\frac{1}{26,1}$ Trot $\frac{1}{21,7}$ Grand trot $\frac{1}{20,0}$	Pas $\frac{1}{26,4}$ Trot $\frac{1}{22}$ Grand trot $\frac{1}{20,5}$

DÉSIGNATION ET ETAT DE LA ROUTE PARCOURUE par les voitures.		VALEUR DU TERME indépendant de la vitesse $a+\alpha$ (0,280 l) pour des largeurs de jantes			VALEUR DU TERME dépendant de la vitesse δ(V—1)
		l=0m,070	l=0m,12	l=0m,17	
Route en empierrement.	Solide, avec ornières et beaucoup de boue.	»	0,0250	»	Diligences 0,0022
	Avec détritus et boue épaisse.	»	0,0300	»	Diligences 0,0022
	Très dégradée, ornières profondes de 0m,06 à 0m,08, boue épaisse.	»	0,0400	»	Diligences 0,0022
	Très mauvaise, ornières profondes de 0m,10 à 0m,12, boue épaisse, fond dur et inégal.	»	0,0450	»	Diligences 0,0038
Pavé en grès de Sierk, très uni et serré.		»	0,0072	»	Diligences 0,0022
Pavé en grès de Fontainebleau.	Ordinaire, sec.	»	0,0080	»	Diligences 0,0025
	Idem.	»	0,0080	»	Voitures à trains suspendus 0,0020
	Etat ordinaire, mouillé et couvert de boue.	»	0,0110	»	Diligences et voitures suspendues 0,0022
Tablier de pont en madriers.		»	0,0120	»	»

CHARIOTS d'artillerie = 0m,070 à 0m,075 ρ = 0m,038 r' = 0m,575 r'' = 0m,780 + r'' = 1m,355 $f\rho$ = 0,00247	CHARIOTS COMTOIS l = 0m,06 à 0m,07 ρ = 0m,027 r' = 0m,6 5 r'' = 0m,725 $r'+r''$ = 1m,35 $f\rho$ = 0,00175	CHARIOTS DE ROULAGE l = 0m,10 à 0m,12 = 0m,032		CHARRETTES l = 0m,10 à 0m,12 ρ = 0m,032		DILIGENCES des Messag. Roy. et Générales l = 0m,10 à 0m,12 ρ = 0m,032 $r'+r''$ = 1m,15 $f\rho$ = 0,00208	VOITURES à trains susp. l = 0m,07 à 0m,0 ρ = 0m,027 r' = 0m,45 r'' = 0m,70 $r'+r''$ = 1m,15 $f\rho$ = 0,00175
		r' = 0m,450 r'' = 0m,750 $r'+r''$ = 1m,20 $f\rho$ = 0,00208	r' = 0m,550 r'' = 0m,850 $r'+r''$ = 1m,40 $f\rho$ = 0,00208	r' = 0m,80 $f\rho$ = 0,00208	r' = 1m,00 $f\rho$ = 0,00203		
$\frac{1}{24,6}$	$\frac{1}{25,2}$	$\frac{1}{22.2}$	$\frac{1}{25,8}$	$\frac{1}{29,5}$	$\frac{1}{36,9}$	Pas $\frac{1}{21,}$ Trot $\frac{1}{8,5}$ Grand trot $\frac{1}{17,1}$	Pas $\frac{1}{21,5}$ Trot $\frac{1}{18,5}$ Grand trot $\frac{1}{17,2}$
$\frac{1}{20,8}$	$\frac{1}{21,3}$	$\frac{1}{18,7}$	$\frac{1}{21,8}$	$\frac{1}{24,9}$	$\frac{1}{31,1}$	Pas $\frac{1}{17,9}$ Tr $\frac{1}{15,8}$ Grand trot $\frac{1}{14,9}$	Pas $\frac{1}{18,1}$ Trot $\frac{1}{15,9}$ Grand trot $\frac{1}{15,0}$
$\frac{1}{15,9}$	$\frac{1}{16,2}$	$\frac{1}{14,5}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{19,0}$	$\frac{1}{23,8}$	Pas $\frac{1}{13,7}$ Trot $\frac{1}{12,4}$ Grand trot $\frac{1}{11.8}$	Pas $\frac{1}{13,8}$ Trot $\frac{1}{12,5}$ Grand trot $\frac{1}{11,9}$
$\frac{1}{14,3}$	$\frac{1}{14,4}$	$\frac{1}{12;7}$	$\frac{1}{14,9}$	$\frac{1}{17,0}$	$\frac{1}{21,2}$	Pas $\frac{1}{12,2}$ Trot $\frac{1}{10,5}$	Pas $\frac{1}{12,3}$ Trot $\frac{1}{9,9}$
$\frac{1}{70,0}$	$\frac{1}{75,5}$	$\frac{1}{64,7}$	$\frac{1}{75,5}$	$\frac{1}{86,3}$	$\frac{1}{107,9}$	Pas $\frac{1}{62}$ Trot $\frac{1}{42,0}$ Grand trot $\frac{1}{36,2}$	Pas $\frac{1}{64,2}$ Trot $\frac{1}{43,0}$ Grand trot $\frac{1}{37,0}$
$\frac{1}{64,6}$	$\frac{1}{69,2}$	$\frac{1}{59,6}$	$\frac{1}{69,5}$	$\frac{1}{79,9}$	$\frac{1}{99,9}$	Pas $\frac{1}{57,1}$ Trot $\frac{1}{38,1}$ Grand trot $\frac{1}{32,7}$	Pas $\frac{1}{59,0}$ Trot $\frac{1}{39,0}$ Grand trot $\frac{1}{33,5}$
»	»	»	»	»	»	Pas $\frac{1}{57,1}$ Trot $\frac{1}{40,9}$ Grand trot $\frac{1}{35,8}$	Pas $\frac{1}{59}$ Trot $\frac{1}{41,8}$ Grand trot $\frac{1}{36,5}$
$\frac{1}{50,3}$	$\frac{1}{52,9}$	$\frac{1}{46,0}$	$\frac{1}{53,5}$	$\frac{1}{61,2}$	$\frac{1}{76,5}$	Pas $\frac{1}{44,0}$ Trot $\frac{1}{32,9}$ Grand trot $\frac{1}{29,2}$	Pas $\frac{1}{45,1}$ Trot $\frac{1}{33,5}$ Grand trot $\frac{1}{29,8}$
$\frac{1}{46,8}$	49,1	$\frac{1}{42,8}$	$\frac{1}{49,8}$	$\frac{1}{6,9}$	$\frac{1}{71}$	Pas et trot $\frac{1}{40,8}$	Pas et trot $\frac{1}{41,8}$

96. *Observations sur le tableau précédent.* — Ce tableau met en évidence les avantages des voitures à grandes roues. Car on voit que la résistance des diverses voitures d'artillerie y est non seulement toujours moindre au pas que celle des diligences, mais que les plus dures de ces voitures, les affûts de siége, par exemple, par suite du grand diamètre de leurs roues, allant au trot sur une route en très bon état, n'offrent qu'une résistance égale à $\frac{1}{50,5}$ du poids total, tandis que les diligences en présentent une de $\frac{1}{40,9}$, et que de même, sur le pavé de Metz, la résistance d'un affût de siége n'est que $\frac{1}{85,5}$ de son poids, tandis que, pour la diligence, elle est, sur le même pavé, égale à $\frac{1}{62}$: ainsi, dans le cas de bonnes routes en empierrement, l'accroissement du diamètre compense les avantages de la suspension, sous le rapport de l'économie du travail moteur.

L'artillerie française, en adoptant, pour son nouveau matériel, des roues égales pour les deux trains, et aussi grandes que possible, a donc, sous ce rapport, devancé les progrès de l'industrie particulière. On observera aussi que les expériences faites sur un tablier de pont en bois de sapin sec montrent qu'au pas la résistance au roulement est, sur le bois, d'environ $\frac{1}{42}$ de la charge, tandis que, sur le pavé de Paris, pour les voitures bien suspendues, elle n'est, au pas, que de $\frac{1}{59}$, et, au trot ordinaire, $\frac{1}{39}$, et, au grand trot, $\frac{1}{33,3}$. Comme il est d'ailleurs certain que le bois mouillé, étant plus compressible, offrirait plus de résistance, on voit que, sous le rapport de la traction, il y a peu d'avantage à employer le pavage en bois. Le temps montrera si les avantages qu'il peut offrir sous le rapport de l'agrément ne sont pas compensés par de graves inconvénients.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES DES EXPÉRIENCES SUR LE TIRAGE DES VOITURES.

97. En récapitulant les résultats des diverses séries d'expériences dont nous venons de rendre compte, on peut établir comme bases des applications à en faire au tirage des voitures, et à la législation de la police du roulage, les conséquences suivantes :

1° La résistance opposée au roulement des voitures de tout genre par les

routes en empierrement solide ou pavées, et rapportée à l'axe de l'essieu dans une direction parallèle au terrain, est sensiblement

Proportionnelle à la pression,
Et inversement proportionnelle au rayon des roues.

2° Les dégradations produites par les voitures sur les routes sont d'autant plus grandes que les roues sont plus petites.

D'où il suit que l'industrie des transports doit chercher à donner à ses voitures les plus grandes roues possible, et que, dans l'intérêt du service public, d'accord avec celui de cette industrie, la législation doit favoriser l'emploi des grandes roues, en permettant des chargements croissant avec le diamètre des roues dans un rapport qu'il conviendra d'ailleurs de combiner avec les conditions de stabilité et de sûreté.

3° Sur les chaussées pavées ou en empierrement, la résistance est, à très peu près, indépendante de la largeur de la bande de roue, dès qu'elle a atteint 0m,08 à 0m,10 de largeur.

4° Sur les terrains compressibles, tels que les terres, les sables, le gravier, les rechargements en matériaux mobiles et les routes neuves en empierrement, la résistance au roulement décroît à mesure que la largeur des bandes augmente, dans un rapport qui dépend de la nature du terrain.

Il en résulte que, sur les chaussées pavées, il n'y a aucun avantage, ni pour l'industrie ni pour l'état, à employer de larges jantes. Il suffit qu'elles aient les dimensions exigées pour la solidité de la voiture; et sur les routes ordinaires en empierrement, il est inutile d'employer des largeurs de jante de plus de 0m,10 à 0m,12.

5° Sur les terrains mous, tels que les terres, le sable, les accotements en terre, en bon état ou avec ornières, les rechargements épais de gravier sur des sols durs, ou les rechargements de 0m,04 à 0m,06 d'épaisseur sur les accotements des routes, la résistance est indépendante de la vitesse pour les voitures suspendues ou non suspendues.

6° Au pas, sur toutes les routes, et même sur le pavé en bon état, la résistance est sensiblement la même pour les voitures suspendues ou non suspendues.

7° Sur les routes en empierrement et sur le pavé, la résistance croît avec la vitesse, de manière que ses accroissements sont à peu près proportionnels à ceux de la vitesse, à partir de celle d'un mètre en une seconde.

L'augmentation est d'autant moindre que la voiture est moins rigide, mieux suspendue et la route plus unie. Elle est assez faible entre les vitesses du pas et du grand trot pour les diligences des messageries bien suspendues, sur les

routes en empierrement en très bon état, qui n'offrent pas de cailloux à fleur du sol.

8° Sur un bon pavé en grès, bien serré et bien uni, tel que celui de Metz, la résistance au pas n'est que les trois quarts environ de celle qu'offrent les meilleures routes en empierrement, et pour les voitures bien suspendues, la résistance au grand trot, sur un bon pavé, est la même que sur une route en empierrement en bon état. Mais quand le pavé n'est pas très bien entretenu, ou quand ses éléments sont séparés par des joints trop larges, comme il arrive avec celui de Paris, la résistance au trot est moindre sur les bonnes routes en empierrement que sur le pavé, même pour les voitures le mieux suspendues.

9° L'inclinaison du tirage correspondante au maximum d'effet utile doit, en général, croître avec la résistance du sol, et être d'autant plus grande que le rayon des roues de l'avant-train est plus petit ; ce qui, sur les routes ordinaires, conduit à se rapprocher de la direction horizontale, autant que la construction de la voiture le permet.

DEUXIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES

SUR L'INFLUENCE DES DIMENSIONS DES ROUES, DE LA VITESSE DE TRANSPORT, ET DE LA RÉPARTITION DES CHARGEMENTS DES VOITURES, SUR LES EFFETS DESTRUCTEURS QU'ELLES PRODUISENT SUR LES ROUTES EN EMPIERREMENT.

1. *But de ces nouvelles expériences.* — Avant de rapporter et de discuter les résultats des expériences dont je me propose de rendre compte dans cette deuxième partie, il est bon de rappeler et d'indiquer sommairement le but et l'esprit dans lesquels elles ont été entreprises, afin qu'ils ne soient pas perdus de vue dans leur appréciation.

Lors de l'exécution des premières expériences sur le tirage des voitures, publiées en 1838, le but principal était de rechercher les conditions mécaniques qui lient l'effort de traction que le moteur doit exercer aux charges, aux diamètres, aux largeurs des roues, aux vitesses de transports, etc. Ces expériences étaient, en effet, entreprises par ordre du ministre de la guerre pour fournir des bases à la théorie pratique du tirage des voitures, si nécessaire à l'artillerie, et j'en avais été chargé en qualité de professeur de mécanique à l'Ecole d'application de l'artillere et du génie à Metz. Cependant la liaison qui existe entre l'intensité du irage et l'état des routes me conduisit à quelques observations sur les dégradations que les voitures produisent sur les routes, et la discussion de ces premières séries d'expériences m'amena à diverses conclusions que je vais rappeler en peu de mots.

1° La résistance opposée au mouvement des voitures de tout genre par les terrains solides, tels que les routes pavées ou en empierrement, rapportée à l'axe de l'essieu dans une direction parallèle au terrain est sensiblement

Proportionnelle à la pression,
Et inversement proportionnelle au rayon des roues.

2° Les dégradations produites par les voitures sur les routes sont d'autant plus grandes que les roues sont plus petites.

3° Sur les chaussées pavées, ou en empierrement, la résistance est à très peu près indépendante de la largeur de bande de roue.

4° Sur les terrains compressibles, tels que les terres, les sables, le gravier, les rechargements de matériaux mobiles et les routes neuves en empierrement

la résistance au roulement décroît au fur et à mesure de l'accroissement de la largeur des bandes dans un rapport qui dépend de la nature du terrain.

Il en résulte que, sur les chaussées pavées, il n'y a aucun avantage, ni pour l'industrie ni pour l'état, à employer de très larges jantes : il suffit qu'elles aient les dimensions exigées pour la solidité de la voiture, et, sur les routes ordinaires en empierrement, il est inutile d'employer des jantes de plus de 0m,10 à 0m,12 de largeur.

5° Sur les terrains mous, tels que les terres, le sable, les accotements en terre en bon état ou avec ornières, les rechargements épais de gravier sur les sols durs, et les rechargements de 0m,04 à 0m,06 d'épaisseur sur les accotements des routes, la résistance est à peu près indépendante de la vitesse pour les voitures suspendues et non suspendues.

6° Au pas d'un mètre en 1″, sur toutes les routes, et même sur le pavé en bon état, la résistance est à très peu près la même pour les voitures suspendues et non suspendues.

7° Sur les routes en empierrement et sur le pavé, la résistance croît avec la vitesse, de manière que ces accroissements sont proportionnels à ceux de la vitesse, à partir de la vitesse d'un mètre en une seconde.

8° L'augmentation est d'autant moindre que la voiture est moins rigide, mieux suspendue, et la route plus unie. Elle est assez faible entre la vitesse du pas et du grand trot pour les diligences des messageries bien suspendues, sur les routes en empierrement en très bon état, qui n'offrent pas de cailloux à fleur du sol.

9° Les voitures non suspendues allant au pas fatiguent et détériorent au moins autant les routes que les voitures suspendues allant au trot, et il en serait, à plus forte raison, de même des voitures non suspendues allant au trot. Il suit de là que, sous le rapport de la conservation des routes, les tarifs de chargements peuvent permettre aux voitures bien suspendues allant au trot les mêmes poids qu'aux voitures de roulage non suspendues allant au pas ; mais que, dans l'intérêt de la conservation des routes, on doit interdire tout service de messagerie et de roulage par voitures non suspendues allant au trot (1).

Parmi ces conséquences, les unes, basées sur les résultats immédiats de l'observation, étaient établies d'une manière suffisante ; mais les autres, déduites des premières par voie de raisonnement, étaient trop importantes pour l'établissement de la loi sur la police du roulage pour ne pas avoir besoin de la sanction directe d'expériences spéciales.

---

(1) Les expériences sur lesquelles cette conclusion est fondée ont été réunies dans cette édition à celles qui en ont vérifié les résultats en 1839, et qui seront rapportées plus loin.

C'est ce que sentit très bien M. le directeur général des ponts et chaussées, et ce que je reconnus moi-même, lorsque, après l'approbation que l'Académie voulut bien accorder à mon travail, cet administrateur éclairé me fit l'honneur de m'appeler pour conférer de ce grave sujet. Je lui remis alors le programme suivant des expériences que je croyais nécessaires pour éclairer cette partie de la question que j'avais traitée, et, après l'avoir examiné, le ministre du commerce et des travaux publics voulut bien m'en confier l'exécution.

QUESTIONS A RÉSOUDRE.	MOYENS A EMPLOYER ET SÉRIES D'EXPÉRIENCES A EXÉCUTER.
Les dégradations produites sur les routes sont-elles en raison inverse des largeurs de jantes, à poids égal?	On fera marcher sur une route en empierrement, et sur trois pistes séparées, mais prises au même état à l'origine, trois voitures à 4 roues égales, du diamètre de 1m,40, et dont les largeurs de bande seront de 0m,06, 0m,12 et 0m,18; le chargement de ces trois voitures sera de 4800 kilog. On observera la marche des dégradations après un même nombre de passages de chaque voiture sur sa piste.
Peut-on permettre des chargements proportionnels aux largeurs de jantes?	On fera marcher sur trois pistes distinctes les mêmes voitures que ci-dessus avec les chargements suivants :

Largeur de bande.	*Chargements.*
m.	kil.
0,06	2400
0,12	4800
0,18	7200

On comparera l'état des trois pistes après un même nombre de passages et après le transport d'une même quantité de matières.

Après ces deux séries d'expériences, il sera sans doute nécessaire d'en faire une troisième pour reconnaître quelle est la proportion à établir entre la largeur de la bande et le chargement.

Les dégradations sont-elles en raison inverse des diamètres des roues?	On fera marcher sur trois pistes distinctes des voitures avec des roues de 0m,12 de largeur de bande, et des roues de 0m,80, 1m,40, 2m,00, de diamètre, et un chargement commun de 4800 kilog.

Peut-on permettre des chargements proportionnels aux diamètres des roues ?

On fera marcher les trois voitures ci-dessus avec des roues de $0^m,12$ de largeur de bande, et les chargements suivants :

Diamètre des roues.	*Chargements.*
m.	k.
0,80	3140
1,40	4800
2,00	6850

Après ces deux séries d'expériences, il sera peut-être nécessaire d'en faire une troisième pour reconnaître la proportion à établir entre les diamètres des roues et les chargements, pour qu'il y ait égalité de dégradations.

Une file de chariots comtois, qui porte le même chargement qu'un gros chariot de roulage, dégrade-t-elle plus la route que ce dernier?

Si l'on peut avoir la libre disposition de quatre chariots comtois, on les chargera de 1200 kilog. chacun, et on les fera marcher comparativement avec un chariot de $0^m,12$ de largeur de bande chargé de 4800 kilog.

Quelle est la marche des dégradations sur les routes et à divers état d'entretien ?

Il sera sans doute nécessaire de répéter quelques unes des séries précédentes sur des routes entretenues en cailloutis, en calcaire dur et en calcaire tendre, et de se transporter à cet effet dans diverses localités assez éloignées.

Lors de l'exécution des expériences, ce programme a subi quelques modifications, par suite des circonstances offertes par les routes et à la demande de la Commission d'ingénieurs chargés de la préparation d'une loi sur la police du roulage, il y a été ajouté quelques autres séries.

La dureté des routes en empierrement de gravier, sur lesquelles on a expérimenté, ayant exigé pour chaque série d'expériences beaucoup plus de temps que je ne comptais, je n'ai pu terminer sur le terrain le travail que vers la fin du mois d'octobre 1839, quoique, commencé en mars, il ait été suivi sans interruption. Dès lors il m'a été impossible de songer à les répéter en d'autres localités, et j'ai dû m'occuper de la rédaction et de la discussion des résultats obtenus.

2. *Moyens d'exécution accordés.* — Pour l'exécution de ces expériences, un crédit me fut ouvert sur le ministère des travaux publics; un détachement de canonniers et des chevaux furent fournis par le ministère de la guerre,

ainsi que l'autorisation de faire préparer à l'arsenal de Vincennes les voitures qui seraient nécessaires.

3. *Routes sur lesquelles on a expérimenté.* — Je choisis pour centre des expériences les environs de Courbevoie, où se trouvaient à proximité plusieurs routes départementales en empierrement, savoir : la route n° 8, allant de Courbevoie à Bezons ; la route n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, et la route n° 31, en face de la caserne de Courbevoie, allant rejoindre la route royale n° 192 au rond-point de la poste de Courbevoie.

De plus, la route royale n° 192, pavée, me permettait de faire encore des expériences spéciales sur le tirage.

Les trois routes départementales ci-dessus sont construites et entretenues en empierrement de gravier siliceux, et ont une épaisseur moyenne de $0^m,35$ environ. Elles sont en terrain à peu près horizontal.

Elles étaient dans un bon état d'entretien, sans flaches ni ornières apparentes, et à l'époque où je commençai les expériences, il n'y avait pas été fait d'emplois récents de matériaux.

La route départementale n° 8 présentait à sa surface quelques pierres trop grosses à l'affleurement, ce qui la rendait un peu plus dure que les deux autres, dont la surface était plus unie.

4. *Points de vue sous lesquels les expériences ont été faites.* — Avant d'indiquer la marche que j'ai suivie pour étudier les dégradations produites par les voitures sur les routes en empierrement, je crois nécessaire de dire sous quel rapport j'ai envisagé ces effets.

Je n'ai pas considéré les dégradations produites sur les routes sous le rapport de la consommation de matériaux qu'elles occasionnent pour la réparation et l'entretien dans le service habituel, mais plutôt sous celui de la difficulté qu'elles apportent à la circulation.

Toutefois j'ai fait relever des profils exacts et nombreux des diverses pistes parcourues, pour avoir une mesure de la destruction effective ; et, vers la fin, j'ai tenu compte de la quantité de matériaux employés à la réparation des dégradations produites.

5. *Moyens de comparaison employés.* — Comme moyen de comparaison habituel, je me suis servi de la mesure de l'intensité du tirage éprouvé par une même voiture circulant sur les diverses pistes des voitures mises en expériences, après un nombre donné de passages ou le transport d'un poids égal. Bien que le tirage ne croisse pas proportionnellement à la dégradation réelle produite sur la route, il est cependant évident et l'expérience confirme que, toutes choses égales d'ailleurs, son intensité s'accroît avec le nombre des passages et avec la dégradation de la route. Par conséquent, si ce moyen

n'est pas une mesure absolue, il est au moins un procédé rationnel et incontestable de comparaison de l'état des routes sous le rapport de la viabilité, qui est, en définitive, celui qui intéresse le plus l'industrie des transports.

Les instruments que j'ai employés pour mesurer l'intensité du tirage étaient le dynamomètre à styles et le dynamomètre à compteur, dont l'usage, la forme et la précision, sont connus. Le dernier fournissant de suite, et par un calcul très simple, la quantité de travail et l'effort moyen consommé par la résistance du sol, je m'en suis servi de préférence comme moyen plus expéditif, et d'ailleurs je l'ai souvent employé en concurrence avec l'autre, et l'accord des résultats a vérifié de nouveau, s'il était nécessaire, l'exactitude des indications du dynamomètre à compteur.

6. *Voitures employées.* — Les voitures dont je me suis servi pour étudier l'influence des proportions des roues sont des porte-corps d'artillerie, qui, comme toutes les autres voitures de la nouvelle artillerie, ont des roues égales aux deux trains, ce qui permettait de se mettre à l'abri de toute influence provenant d'une différence, sous ce rapport, dans les deux trains. J'ai fait construire, pour ces porte-corps, six paires de roues de 1m,45 environ de diamètre, dont deux avaient 0m,060 de largeur de jante, deux 0m,115 et deux 0m,175. Ces dimensions, peu différentes de celles que j'avais indiquées, ont été déterminées par la largeur du fer de bandage que l'on trouve dans le commerce. J'ai eu ainsi trois largeurs différentes de bande de roue à diamètres égaux.

Quatre autres paires de roues de 0m,115 de largeur de jante, comme l'une des précédentes, ont été faites, deux au diamètre extérieur de 2m,029, et deux à celui de 0m,872, ce qui a donné trois grandeurs différentes à largeur égale.

Pour charger ces voitures, des caisses en chêne, fortement ferrées, ont été placées sur la plate-forme des porte-corps et sur l'extrémité de sa flèche; des boulets de 24, placés dans ces caisses, complétaient le chargement au poids indiqué.

Les essieux de ces trois voitures étaient exactement aux mêmes dimensions, les boîtes identiques et toujours bien graissées.

Outre ces voitures, j'ai employé, pour comparer les effets produits par des voitures suspendues allant au trot à ceux des voitures non suspendues allant au pas, deux fourgons qui m'ont été prêtés par l'administration des Messageries Générales, et qui étaient exactement pareils et en parfait état.

Pour comparer les expériences faites avec des voitures du commerce, j'ai pris quatre voitures du genre des comtoises, une charrette ordinaire de roulage et un gros chariot de roulage des dimensions usitées aux environs de Paris.

7. *Examen des routes parcourues.* — Les portions de route sur lesquelles j'ai expérimenté ont toujours été choisies, autant que possible, au même état apparent, et, comme des sondages ont montré que la nature des matériaux et l'épaisseur étaient sensiblement les mêmes, et, moyennement, de $0^m,35$ sur toutes ces routes, j'ai eu la certitude d'opérer sur des sols aussi homogènes que possible.

Dans chaque série d'expériences, chaque voiture avait une piste déterminée, sur laquelle elle allait et venait sans cesse, et les conducteurs avaient l'ordre de suivre, le plus exactement possible, les mêmes traces, pour accélérer la marche des dégradations. Pendant les expériences, les voitures ne se dérangeaient pour aucune autre; mais, dans les intervalles de leurs passages, la circulation n'était pas interdite: les diverses pistes étaient ainsi dans les mêmes circonstances, les unes par rapport aux autres, quant à la fréquentation ordinaire.

Sur ces routes, en empierrement de silex pyromaque, les dégradations produites par des chargements considérables, et après un grand nombre de passages, étant à peine sensibles par la sécheresse de l'été, j'ai pris, à la seconde série d'expériences, le parti d'arroser abondamment les pistes. Outre l'avantage d'accélérer les dégradations, j'y ai trouvé celui de maintenir facilement et en tout temps ces pistes à un même état d'humidité, quelles que fussent leur pente et leur exposition, ce qui a rendu les résultats beaucoup plus comparables.

Le voisinage de plusieurs pompes à manége, et la facilité d'y employer mes chevaux, ont rendu cet arrosage fort peu coûteux, et l'accélération du travail a plus que compensé cette dépense.

Ainsi que l'a fait remarquer le rapporteur de l'Académie des Sciences, ce procédé d'expérimentation est identiquement celui qui avait été indiqué par feu M. Navier, dans ses *Considérations sur les principes de la police du roulage.* On lit en effet (page 126) : « On voit donc qu'il existe des procédés directs » pris dans la considération essentielle de l'intérêt public important auquel il » s'agit ici de satisfaire, pour distinguer la proportion convenable des charge- » ments aux largeurs des jantes. Ces procédés ne peuvent consister que dans » la mesure exacte de l'intensité moyenne du tirage auquel donne lieu une » roue qui repasse un très grand nombre de fois à peu près sur la même » trace. La simple observation de la trace que laisse une roue sur la route » n'est nullement propre à fixer les idées, ni même à rien apprendre sur ce » sujet de véritablement utile. Car cette trace, dont on ne peut d'ailleurs me- » surer la profondeur avec l'exactitude nécessaire, indique tout au plus l'ef- » fet de la roue sur la surface de la chaussée; elle ne fait point connaître ce

» qui se passe dans l'intérieur de cette chaussée, où il se produit cependant » d'autres effets qui méritent bien d'être pris en considération. Ainsi elle ne » nous instruit pas même sur le degré de destruction des matériaux, qui sont » un objet d'un intérêt secondaire; et surtout elle ne nous apprend rien re- » lativement à l'intensité du tirage des chevaux, qui est l'objet sur lequel porte » dans cette question l'intérêt principal. »

A la fin de chaque série d'expériences, j'ai invité MM. les membres de la commission du roulage à en vérifier les résultats. Les expériences sur l'intensité du tirage ont toujours été faites en présence de M. Emmery, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées.

Quant à l'état primitif de la route, avant le commencement de chaque série d'expériences il a toujours été signalé par moi sur un registre, et ce signalement a été approuvé et reconnu exact par M. Baude, ingénieur ordinaire, alors chargé de l'arrondissement dans lequel j'opérais.

Telles sont les dispositions que j'ai adoptées pour donner aux expériences toute la régularité et toute l'authenticité désirables. Plusieurs ingénieurs étrangers à la commission du roulage m'ont fait l'honneur de venir les visiter, et j'ai toujours cherché à répéter devant eux quelques unes des expériences.

EXPÉRIENCES

SUR LES EFFETS DESTRUCTEURS PRODUITS SUR LES ROUTES PAR DES VOITURES DONT LES ROUES ONT DES LARGEURS DE BANDES DIFFÉRENTES.

8. *But des expériences.* — Les résultats des expériences faites à Metz sur l'influence de la largeur des jantes cylindriques sur la résistance au roulement, et l'examen des circonstances du mouvement des roues des voitures autour de l'axe incliné des fusées des essieux, m'avaient conduit à conclure que, s'il est vrai que les jantes étroites doivent produire plus de dégradation sur les routes que les jantes larges, il me semblait que « *le principe de la proportion- » nalité des chargements aux largeurs de jante n'était pas exact dans la prati- » que, et que l'application absolue qu'on en faisait pour la fixation des tarifs sur » le roulage était à la fois gênante pour le commerce, et plus nuisible qu'utile » aux routes.* »

Cette conclusion rationnelle des faits observés étant d'une grande importance pour la question du roulage, il ne suffisait pas qu'elle parût juste, il était indispensable de lui donner la sanction de l'expérience.

9. *Moyens employés.* — Pour examiner la question sous divers points de

vue, on a exécuté plusieurs séries d'expériences, et à cet effet on a disposé trois porte-corps d'artillerie, sur lesquels on a placé des caisses destinées à contenir la charge, composée de boulets de 24.

Ces voitures ont reçu des numéros d'ordre et ont été montées ainsi qu'il suit :

NUMÉROS des VOITURES.	DIAMÈTRE des ROUES.	LARGEUR des BANDES.
	m.	m.
Voiture N° 1	1,449	0,060
N° 2	1,453	0,115
N° 3	1,438	0,175

Ainsi, les diamètres des roues étaient à peu près égaux, les essieux et les boîtes exactement pareils, la largeur seule des bandes différait d'une voiture à l'autre.

La première série d'expériences entreprise a eu pour but de rechercher si la proportionnalité des chargements aux largeurs de bande conduisait à des dégradations inférieures ou égales des routes par toutes les voitures, soit après un même nombre de passages, soit après le transport d'un même poids.

Pour cela, on a chargé ces voitures à raison de 100 kilog. par centimètre de largeur de bande, et le poids total, véhicule compris, a été réglé ainsi qu'il suit :

Voiture n° 1, à jantes de		0m,060	2408 kil.
n° 2	id.	0m,115	4594
n° 3	id.	0m,175	6992

On a choisi, pour exécuter les expériences, la portion de la route départementale n° 8 qui est comprise entre les deux chemins de fer de Versailles et de Saint-Germain. Cette partie, visitée avec M. Baude, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées dans l'arrondissement duquel elle se trouvait, a été reconnue, avant les expériences, en bon état d'entretien, sans ornières apparentes, sans portions récemment rechargées, et il n'y avait été fait récemment aucun emploi considérable de matériaux. Elle offrait quelques pierres ou cailloux assez gros à fleur du sol. L'épaisseur de cette chaussée a été trou-

vée par deux sondages de $0^m,35$ environ sur sa plus grande partie, et de $0^m,55$ près du chemin de fer de Versailles.

Trois longueurs de 300 mètres chacune ont été choisies pour chacune des voitures, et affectées ainsi qu'il suit :

La plus voisine du chemin de fer de Versailles, commençant à la première borne hectométrique, auprès du viaduc, a été assignée à la voiture n° 3, chargée de 6992 kilog., à jantes de $0^m,175$.

A la suite de ces trois cents mètres, on a laissé un intervalle de 50 mètres pour faire tourner les voitures.

Au-delà de ces 50 mètres commençait la partie de 300 mètres affectée à la voiture n° 2, chargée de 4594 kilogrammes, sur des jantes de $0^m,115$.

Un dernier intervalle de 50 mèt. séparait cette portion de la troisième piste de 300 mèt. assignée à la voiture n° 1, chargée de 2408 kilog., à jantes de $0^m,060$.

Ces pistes furent choisies sur un des côtés de la chaussée, de façon que l'une des roues fût au milieu. Cette chaussée ayant 5 mètres de largeur, les roues ont toujours porté sur la partie entretenue.

Par suite de cette distribution, la portion affectée à la voiture n° 3, à jantes de $0^m,175$, qui n'est pas bordée d'arbres ni abritée d'aucun côté, était généralement plus sèche que les deux autres. Celle qui était assignée pour la voiture n° 2, à jantes de $0^m,115$, était un peu plus abritée que la précédente, mais notablement moins que la troisième piste, donnée à la voiture n° 1, à jantes de $0^m,060$.

Par conséquent, la voiture à jantes étroites se trouvait, sous ce rapport, dans des circonstances un peu moins favorables que la voiture à jantes moyennes, et celle-ci était de même moins avantageusement placée que la voiture à jantes larges. On sait en effet que, si un certain degré d'humidité favorise l'entretien des routes, quand on fait des emplois de matériaux pour réparations, la sécheresse au contraire diminue beaucoup les dégradations.

Chaque voiture fut mise en mouvement sur sa piste particulière, et les conducteurs reçurent l'ordre d'aller et de venir sans cesse sur les mêmes traces, autant qu'il serait possible, sans se déranger pour les autres voitures.

Les cantonniers furent avertis de ne faire aucune espèce de réparation pendant toute la durée des expériences.

Le travail fut partagé en deux séances de trois heures le matin et trois heures le soir, dans les intervalles desquelles la circulation sur la route ne fut pas interrompue, de sorte que chaque piste put être également fréquentée par les autres voitures.

Les expériences ont commencé le 22 mars et ont été suivies sans interruption jusqu'au 4 mai. Pendant les quinze premiers jours, le temps a été con-

stamment humide et pluvieux, ce qui a accéléré la marche des dégradations; plus tard il est devenu très sec.

10. *Examen de l'état des pistes.* — Pour observer et constater la marche des effets, j'ai suivi attentivement et constaté l'avancement des dégradations, j'ai fait des expériences sur le tirage, et relever des profils transversaux de la route.

Voici les résultats de ces observations.

Le 28 mai, après 280 à 290 passages de chaque voiture sur sa piste, par un temps continuellement humide, la piste de la voiture n° 3, à jantes de $0^m,175$, présentait sur toute son étendue des commencements de désaggrégations, les cailloux brisés étaient désunis, et, dans plusieurs endroits, on voyait le terrain s'ébranler au passage de la voiture.

La piste de la voiture n° 2, à jantes de $0^m,115$, offrait aussi quelques traces très faibles de désaggrégation.

La piste de la voiture n° 1, à jantes de $0^m,060$, ne présentait aucune trace de désaggrégations ni d'ornières sensibles.

Le 2 avril, par un temps pluvieux, la route étant très mouillée, après 472 passages de la voiture n° 3, 500 de la voiture n° 2, et 490 de la voiture n° 1, les effets étaient dans le même ordre : il y avait des dégradations notables à la piste de la voiture n° 3, fort peu à celle de la voiture n° 2, et point à celle de la voiture n° 1.

Le 4 avril, par un temps assez beau, la route étant couverte de boue molle, après 541 passages, la piste de la voiture n° 3 présentait, sur toute sa longueur, deux ornières bien marquées, quoique incessamment recouvertes par la boue. Après 610 passages, la piste de la voiture n° 2 présentait aussi la trace de deux ornières, mais elles étaient très peu marquées. La piste de la voiture n° 1, après 598 passages, ne présentait aucun frayé apparent, et semblait être au même état que la portion de la route laissée libre au public.

Le 6 avril, les effets étaient analogues. Il a été fait des expériences sur l'intensité du tirage, sur les trois pistes, après 640 passages sur la piste de la voiture n° 3, à laquelle il était devenu nécessaire d'atteler huit chevaux, après 658 passages sur celle de la voiture n° 2, et 652 sur celle de la voiture n° 1.

Le 9 avril, la route étant sèche, couverte d'un peu de poussière, par un vent très sec du nord-est, la piste de la voiture n° 3, après 760 passages, présentait deux ornières bien marquées sur toute sa longueur; celle qui était du côté de l'accotement était la plus profonde, et avait de $0^m,04$ à $0^m,08$ de profondeur. La piste de la voiture n° 2, après 764 passages, n'offrait que quelques traces de désaggrégation et des ornières à peine visibles. La piste de la voiture n° 1, après 652 passages, n'offrait aucune ornière apparente.

On a commencé, à partir de ce jour, à balayer les ornières avec des balais doux, pour enlever la poussière.

Le 3 avril, la route a été visitée avec MM. Devilliers, de Kermengant, Emmery, Saint-Venant, Baude et Dupuit. Il y avait alors 1016 passages de la voiture n° 1, 1014 de la voiture n° 2, et 1006 de la voiture n° 3; le temps avait été constamment sec depuis le 8.

La piste de la voiture n° 3 a présenté, comme par le passé, des dégradations beaucoup plus fortes que les autres; les matériaux qui formaient le fond des ornières étaient complétement désaggrégés sur plusieurs centimètres d'épaisseur.

La piste de la voiture n° 2 offrait des effets analogues, mais beaucoup moins prononcés.

La piste de la voiture n°1 n'a pas présenté de dégradations notables.

Ces résultats étant constatés, on a arrêté la circulation de la voiture n° 3, et l'on a fait continuer celles des voitures n° 2 et n° 1, jusqu'à ce qu'elles eussent transporté, chacune sur sa piste, le même poids que la voiture n° 3 avait fait passer sur la sienne, c'est-à-dire 1006 × 6992k· = 7 034 000k· environ. Ce qui exigeait que le nombre de passages fût en raison inverse des chargements ou des largeurs de bandes.

Le 24 avril, la voiture n° 2 a complété le nombre de 1742 passages, correspondant à 8 003 000k· transportés, nombre un peu plus fort qu'il n'était nécessaire. Sa piste n'offrait d'ornières notables qu'au commencement sur une longueur de 50 à 60 mètres; tout le reste était en bon état, sans désaggrégation apparente, et avec un frayé très peu sensible.

La voiture n° 1 avait alors effectué 1903 passages sans avoir produit aucune trace de désaggrégation.

Le 4 mai, la voiture n° 1 avait terminé 3107 passages, correspondant à un transport de 7 482 000k·; sa piste ne présentait aucune trace d'ornières ni de frayé.

A ces observations suivies des effets apparents j'ai joint les résultats du relèvement des profils transversaux (1) exécutés après 1066 passages environ de la voiture n° 3, à jantes de 0m,175 sur sa piste, et après 1742 passages de la voiture n° 2, à jantes de 0m,115. Quant à la voiture n° 1, à jantes de 0m,06, comme elle n'avait produit aucune ornière, la forme de la surface supérieure de la route n'avait pas été altérée; il n'y avait aucune différence à constater par les profils.

(1) La multiplicité des profils, et le nombre de planches que ces profils exigent, ne me permettent pas de les publier. Les minutes ont été adressées à M. le ministre des travaux publics et à l'Académie des sciences.

L'examen des dessins où sont représentés les dix profils sur chaque piste des voitures n° 2 et n° 3, exécutés aux époques indiquées, a montré que, malgré la sécheresse survenue après 650 passages de la voiture n° 3, les dégradations ont continué de marcher dans le même sens, et de s'accroître de manière à former des ornières très notables; tandis qu'après 1742 passages, correspondant au transport de 8 003 000k. par la voiture n° 2, les profils ne manifestaient des ornières un peu notables que vers l'origine de la piste, et à peu près nulles vers le milieu et la fin.

11. *Expériences sur l'intensité du tirage.* — Des expériences sur l'intensité du tirage ont été exécutées à diverses époques de la circulation des voitures, et les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

Je conserve dans les calculs des résultats des expériences l'usage de la valeur de la constante $A = \frac{Rr}{P}$, correspondante à la loi de Coulomb sur l'influence du diamètre des roues, quoique, dans le cas des sols humides et des ornières boueuses, cette loi puisse cesser d'être aussi voisine de la vérité que pour celui des routes solides et dures, pour lesquelles elle a été vérifiée et admise comme suffisamment exacte. Le motif qui m'y détermine, c'est qu'elle fournit un moyen simple et facile de comparer les effets et toutes les circonstances du tirage des véhicules à roues de divers diamètres, et conduit à des résultats assez approchés pour les applications, tandis que les lois, plus rigoureuses peut-être, d'après lesquelles la résistance varierait en raison inverse d'une puissance du rayon inférieur à l'unité, et comprise entre $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$ et 1, sont d'un emploi difficile pour le calcul, et surtout parce qu'il est fort délicat de choisir l'exposant du rayon.

Au surplus, et pour éviter toute incertitude relative à ces lois, je donne, dans une colonne particulière, le rapport de l'effort de traction exercé par les chevaux, parallèlement au plan de la route, à la charge totale; ce qui suffit pour la discussion des résultats des expériences sur la dégradation des routes.

EXPÉRIENCES ***sur les dégradations produites par des voitu***
les chargements etant proportion

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	Sens du mouvement
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
1	1	Route départemen. n. 8, entre les deux chemins de fer, couverte de boue épaisse après des pluies continuelles.	Voiture n. 2.	1050	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,04	Aller.
	2			1050										1,06	Retour.
	3			300										1,07	Aller.
	4			300										1,10	Retour.
	5			225										1,86	Aller.
	6			225										1,02	Retour.
	7			250										0,94	Aller.
	8			250										0,84	Retour.
2	1	Même route très sèche.	Voiture n. 3.	1075	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,30	Aller.
	2			1075										1,30	Retour.
	3			1050										1,32	Aller.
	4			1050										1,32	Retour.
3	1	Idem.	Voiture n. 2.	275	4	1,453	1,453	0,115	4594	1951	1951	4	Pas	1,31	Aller.
	2													1,18	Retour.
	3													1,2[illegible]	Aller.
	4													1,09	Retour.
	5													1,18	Aller.
	6													1,12	Retour.
4	1	Idem.	Voiture n. 3.	300	4	1,438	1,438	0,175	6992	3024	3024	6	Pas	1,39	Aller.
	2			300										1,30	Retour.
	3			275										1,70	Aller.
	4			275										1,28	Retour.
	5			275										1,34	Aller.
	6			275										1,14	Retour.

…OMBRE …e tours …roulette du …mpteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
5 / 5 } 475,5	184,7	$\frac{1}{24,9}$	13,3	171,4	0,0271	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	Sur la partie libre de la route, très mouillée, avec boue épaisse, en partie désaggrégée par le dégel
8 / 2 } 159	189,0	$\frac{1}{24,3}$	13,3	175,7	0,0278	$\frac{P_1}{r^1}$ = 6323,4.	Sur la piste de la voiture n° 1, après 682 passages.
} 112	203,1	$\frac{1}{22,6}$	13,3	189,8	0,0300	FE = 408N. f = 0,065. ρ = 0m,038. $p' = p''$ = 346 kil.	Sur la piste de la voiture n° 2, après 658 passages.
7 } 136,3	222,4	$\frac{1}{20,6}$	13,3	209,1	0,0331		Sur la piste de la voiture n° 3, après 640 passages.
,5 } 272,2	125,5	$\frac{1}{55,7}$	20,8	104,7	0,0108	Dynamomètre à compteur. $\frac{P_1}{r^1}$ = 9724,6.	Sur la partie laissée libre au public, très sèche
,5 } 263,7	124,4	$\frac{1}{56,2}$	20,8	103,6	0,0107	FE = 495,5N. $p' = p''$ = 472. ρ = 0m,038.	Idem.
	Moyenne	$\frac{1}{55,9}$			0,0107		
» / »	100	$\frac{1}{46}$	13,3	86,7	0,0137		Sur sa piste très sèche, après 1014 passages.
» / »	96,8	$\frac{1}{47,6}$	13,3	83,5	0,0132	Dynamomètre à styles de 300 kil. $\frac{P_1}{r^1}$ = 6323.	Idem.
» / »	99	$\frac{1}{46,4}$	13,3	85,7	0,0135		Idem.
	Moyenne	$\frac{1}{46,7}$			0,0135		
} 116,5	192,4	$\frac{1}{36,5}$	20,8	171,6	0,0176	Dynamomètre à compteur. FE = 495,5N.	Sur la piste de la voiture n° 1, un peu humide, après 1486 passages.
,5 } 119,2	214,8	$\frac{1}{32,6}$	20,8	194,0	0,0199	$\frac{P_1}{r^1}$ = 9724,6.	Sur la piste de la voiture n° 2, après 1426 passages.
,5 / ,5 } 158,5	285,6	$\frac{1}{24,5}$	20,8	264,8	0,0272		Sur la piste de la voiture n° 3, très sèche, après 1066 passages.

12. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* — Lorsque ces expériences ont été commencées, vers la fin de mars, il avait plu depuis assez long-temps, la route était couverte de boue épaisse, le sol était attendri par l'humidité de l'hiver, et le tirage y était considérable.

Après 650 passages environ de chacune des voitures sur sa piste, le tirage sur la piste de la voiture n° 1, à jantes de $0^{m},06$, chargée de $2408^{k.}$, était à peu près la même que sur la partie de la route laissée libre; il était augmenté de $\frac{1}{13}$ environ sur la piste de la voiture n° 2, à jantes de $0^{m},115$, chargée de $4594^{k.}$, et de $\frac{1}{4,5}$ sur celle de la voiture n° 3, à jantes de $0^{m},175$, chargée de 6992^{k}. Au moment où ces expériences ont été faites, la route était couverte de boue épaisse, et il avait plu presque tous les jours depuis l'origine des expériences.

Le temps étant devenu sec, et un vent du nord-est ayant desséché la route et les pistes, le tirage a été observé sur la partie libre de la route, et a donné pour la constante A la valeur moyenne 0,0107, relative, comme on l'a vu, à des routes très sèches et très fermes. Sur la piste de la voiture n° 2, après 1014 passages offrant quelques traces de désaggrégation, on a eu la moyenne A = 0,0135, ce qui correspond à l'état d'une route en empierrement couverte d'un peu de débris de matériaux. Et sur la piste de la voiture n° 3, après 1066 passages on a eu A = 0,0272, ce qui, dans un temps très sec, indique un état considérable de désaggrégation de matériaux. Quant à la piste n° 1, elle ne présentait aucune différence avec la partie de la route laissée libre.

Le temps ayant continué à être habituellement sec, les dégradations ont marché lentement, et, après 1486 passages de la voiture n° 1 sur sa piste, l'expérience du tirage, un jour où elle était un peu humide, a donné A = 0,0176, ce qui correspond, comme on l'a vu, à une route humide en bon état; et sur la piste de la voiture n° 2, après 1426 passages, on a trouvé A = 0,0[illegible]9, ce qui indique déjà une route un peu fatiguée.

On voit par ce résumé que le tirage s'est accru sur la piste n° 3 avec le nombre des passages beaucoup plus rapidement que sur les deux autres pistes, et qu'il a aussi angmenté, mais dans un rapport beaucoup moindre, sur la piste de la voiture n° 2, et qu'enfin, sur la piste de la voiture n° 1, il est resté stationnaire, et n'a varié qu'en raison de l'état d'humidité de la route.

L'observation directe de l'état des pistes, le relèvement des profils transversaux et la mesure du tirage des voitures, s'accordent donc pour montrer qu'après le transport d'un même poids de matières la voiture n° 3, à jantes de $0^{m},175$, chargée de 6992 kilogrammes, avait produit beaucoup plus de

dégradations que les deux autres voitures; que la voiture n° 2, à jantes de 0^{m},115, chargée de 4594 kilogrammes, en avait produit plus que la voiture n° 1, à jantes de 0^{m},06, chargée de 2408 kilogrammes, et que celle-ci n'avait produit aucune ornière ni frayé apparent.

13. *Conséquences de ces expériences.* — Il semble donc naturel de conclure de cette série d'expériences faites sur des voitures exactement semblables sous tous les rapports, excepté sous celui de la largeur des jantes et du chargement, qui était proportionnel à cette largeur, que *la proportionnalité des chargements aux largeurs de jantes, admise comme base des tarifs, est plus défavorable qu'utile aux routes.*

Cela confirme complétement la conclusion que nous avons tirée précédemment des expériences sur la variation du tirage en fonction de la largeur des jantes.

EXPÉRIENCES

SUR LES DÉGRADATIONS PRODUITES PAR DES VOITURES CHARGÉES DE POIDS ÉGAUX SUR DES BANDES DE ROUES INÉGALES.

14. *But et moyens employés.* — Quoiqu'il soit évident qu'à chargements égaux les roues à jantes étroites dégradent plus les routes que les roues à jantes larges, il n'était cependant pas sans utilité de chercher à reconnaître, pour certaines routes, dans quelle proportion cet effet destructeur se produit.

A cet effet, on a fait circuler sur la route départementale n° 8 les trois voitures ci-dessus avec des chargements égaux de 5516 kilogrammes, véhicule compris. La voiture n° 3, à roues de 1^{m},438 de diamètre, de 0^{m},175 de largeur de bande, a été conduite sur une piste de 200 mètres, commençant à 300 mètres au delà de la borne hectométrique placée après le viaduc du chemin de fer de Versailles, en allant vers celui de Saint-Germain. La voiture n° 2, à roues de 1^{m},453 de diamètre sur 0^{m},115 de largeur de bande, a eu pour piste une longueur de 200 mètres, commençant à 800 mètres du même viaduc. La voiture n° 1, à roues de 1^{m},449 de diamètre sur 0^{m},060 de largeur de bande, a été menée sur une piste de 200 mètres, commençant à 550 mètres du même viaduc.

On doit faire remarquer que, dans cette série d'expériences, on n'a pas employé la partie de la route qui correspondait à la piste de la voiture n° 3, dans la première série, et qui avait été fort dégradée, et que les voitures, au lieu d'être dirigées sur la portion droite de la chaussée, ont été conduites au milieu, de manière à ne point passer dans les anciennes traces qui auraient

pu rester du passage de la voiture n° 2. On sait, de plus, que la dernière partie de cette portion de route n'avait aucune trace d'ornière ni de frayé. La route ayant été visitée avec soin, les trois pistes assignées aux voitures ont paru, aussi exactement qu'on pouvait le désirer, au même état.

15. *Arrosage des pistes.* —Pour mettre ces trois pistes continuellement au même degré d'humidité, et accélérer en même temps la marche des dégradations, on a arrosé les pistes, à l'endroit où passaient les roues, au moyen de deux tonneaux, qui versaient, pendant les six heures de travail, un volume d'eau de 4^{mc},400 à 5^{mc},900 par jour. La longueur des trois pistes étant ensemble de 600 mètres, et l'eau étant versée sur les traces des roues sur une largeur de 0^{m},60 environ de chaque côté, cet arrosage répandait par jour, sur les parties fréquentées par les roues, un volume d'eau de 6^{li},12 à 8^{li},2 par mètre carré, ou 0^{m},064 à 0^{m},082 d'épaisseur d'eau, qui peut paraître trop considérable; mais il faut observer que le temps était chaud et très sec, que cette opération se faisait pendant les reprises du travail, et seulement sur quelques parties d'une route très sèche, qui absorbait l'eau si rapidement, qu'au commencement de chaque séance elle conservait beaucoup moins d'humidité.

16. *Examen de l'état de la route.* — Les expériences ont commencé le 17 juin, et ont continué sans interruption. Pendant quelques jours, la voiture n° 1, à jantes de 0^{m},060, n'a pas marqué ses ornières, quoiqu'elle produisît beaucoup de boue; la voiture n° 2, à jantes de 0^{m},115, indiquait mieux les siennes, ainsi que la voiture n° 3, à jantes de 0^{m},175. Mais quand le nombre de passages est devenu plus considérable, les ornières de la voiture n° 1 sont devenues beaucoup plus profondes que les autres.

17. *Mesure du tirage.* — Au fur et à mesure de l'augmentation du nombre des passages, on a fait, à diverses époques, des expériences sur l'intensité du tirage, les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière. 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SEN à mou
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
	1													0,69	Aller.
	2													0,72	Retou
	3	Route départemen. n. 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche, couverte de poussière.	Voiture n. 1, porte-corps d'artillerie.	184	4	1,449	1,449	0,060	5516	2346	2346	4	Pas	0,72	Aller.
1	4													0,74	Retou
	5													0,78	Aller.
	6													0,79	Retou
	1			184										1,53	Aller.
	2			184										1,45	Retou
	3			184										1,45	Aller.
2	4			184										1,43	Retou
	5			184										1,44	Aller.
	6			184										1,46	Retou
	7			184										1,53	Aller.
	8			184										1,53	Retou
	1			170										»	Aller.
	2	Même route.	Voiture n. 2, porte-corps d'artillerie.	170	4	1,438	1,438	0,175	5516	2286	2236	4	Pas	0,92	Retou
3	3			170										1,50	Aller.
	4			170										1,20	Retou
	5			170										0,99	Aller.
	6			170										0,95	Retou
	1			180										1,42	Aller.
	2			180										1,28	Retou
4	3			180										1,25	Aller.
	4			180										1,06	Retou
	5			180										1,12	Aller.
	6			180										0,94	Retou

...nt les roues ont le même diamètre et des largeurs inégales,
...nt égaux.

NOMBRE de tours la roulette du ompteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
3,4 3,2 } 38,3	89,0	$\frac{1}{62,0}$	17,4	71,6	0,00940	Dynamomètre à compteur. EF=427,5 N. $\frac{P}{r'}=7613$.	Sur la partie libre, très sèche.
,5 5,5 } 38,4	89,2	$\frac{1}{61,8}$	17,4	71,8	0,00943	$\rho'=\rho''=0^m,038$. $f=0,065$. $p'=p''=212^k$.	
2,0 5,8 } 38,9	90,4	$\frac{1}{61,0}$	17,4	73,0	0,00959		
	Moyenne	$\frac{1}{61,6}$		Moyenne	0,00947		
6,0 0,8 } 43,4	116,9	$\frac{1}{47,2}$	15,7	101,2	0,0132	Dynamomètre à compteur. FE=495,5 N. $\frac{P_1}{r'}=7672$.	Sur la partie libre, un peu humide en quelques endroits, et sèche en d'autres.
4,6 0,0 } 41,8	112,5	$\frac{1}{49,0}$	15,7	96,8	0,0126	$\rho'=\rho''=0,^m038$. $f=0,065$. $p'=p''=472^k$.	
3,5 7,7 } 40,6	109,3	$\frac{1}{50,5}$	15,7	93,6	0,0122		
3,5 6,7 } 40,1	108,0	$\frac{1}{51,1}$	15,7	92,3	0,0120		
	Moyenne	$\frac{1}{49,4}$		Moyenne	0,0123		
0 6 } 98	285,6	$\frac{1}{19,3}$	15,7	269,9	0,0352		
0 6 } 98	285,6	$\frac{1}{19,3}$	15,7	269,9	0,0352		Piste de la voiture n. 1, après 824 passages, couverte de boue.
2 6,8 } 94,4	275,1	$\frac{1}{20,0}$	15,7	259,4	0,0338		
	Moyenne	$\frac{1}{19,5}$		Moyenne	0,0347		
1 6 } 73,5	202,3	$\frac{1}{27,3}$	15,7	186,6	0,0243		Piste de la voiture n. 2, après 818 passages, couverte de boue.
,2 0 } 70,6	194,3	$\frac{1}{28,4}$	15,7	178,6	0,0233		
,0 3,3 } 67,6	186,1	$\frac{1}{29,6}$	15,7	170,4	0,0222		
	Moyenne	$\frac{1}{28,4}$		Moyenne	0,0233		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	S…
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
5	1	Route départemen. n. 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche, couverte de poussière.	Voiture n. 1, porte-corps d'artillerie	180	4	1,438	1,438	0,175	5516	2286	2286	4	Pas	1,28	Alle.
	2													1,26	Retou
	3													1,05	Alle.
	4													1,15	Retou
	5													1,00	Alle.
	6													1,22	Retou
6	1													1,05	Aller.
	2													1,00	Retou
	3													1,21	Aller.
	4													1,16	Retou
	5													1,29	Aller.
	6													1,17	Retou
7	1	Même route.	Même voiture.	180	4	1,449	1,449	0,060	5516	2546	2546	4	Pas	1,15	Aller.
	2													1,05	Retou
	3													1,11	Aller.
	4													1,08	Retou
	5													1,09	Aller.
	6													1,12	Retou
8	1													1,16	Aller.
	2													1,16	Retou
	3													1,20	Alle
	4													1,17	Retou
	5													1,20	Alle
	6													1,13	Retou

...IBRE ...ours ...oulette ...u ...teur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
76,1	199,5	$\frac{1}{27,6}$	15,7	183,8	0,0240	Dynamomètre à compteur. FE=495,5 N. $\frac{P_1}{r'}$=7672.	Piste de la voiture n° 3, après 822 passages, couverte de boue.
69,7	182,7	$\frac{1}{30,2}$	15,7	167,0	0,0218		
66,0	173,0	$\frac{1}{31,8}$	15,7	157,3	0,0205		
	Moyenne	$\frac{1}{29,9}$		Moyenne	0,0221		
116,2	276,0	$\frac{1}{20,0}$	17,4	258,6	0,0340		Sur la piste de la voiture n° 1, après 978 passages.
109,6	260,3	$\frac{1}{21,2}$	17,4	242,9	0,0319		
113,9	270,5	$\frac{1}{20,4}$	17,4	253,1	0,0332		
	Moyenne	$\frac{1}{20,5}$		Moyenne	0,0330		
88,0	209,0	$\frac{1}{26,4}$	17,4	191,6	0,0252	Dynamomètre à compteur de 600 kil. FE=427,5 N. $\frac{P_1}{r'}$=7613.	Sur la piste de la voiture n° 2, après 994 passages.
88,2	209,5	$\frac{1}{26,3}$	17,4	192,1	0,0252		
82,5	195,9	$\frac{1}{28,2}$	17,4	178,5	0,0234		
	Moyenne	$\frac{1}{26,9}$		Moyenne	0,0246		
82,7	196,4	$\frac{1}{28,1}$	17,4	179,0	0,0235		Sur la piste de la voiture n° 3, après 972 passages. Aux 1re et 2e expériences, l'arrosage n'avait pas encore ramolli la boue; le tirage a été plus fort à proportion.
76,8	182,4	$\frac{1}{30,2}$	17,4	165,0	0,0217		
71,5	170,0	$\frac{1}{32,4}$	17,4	152,6	0,0200		
	Moyenne	$\frac{1}{30,2}$		Moyenne	0,0217		

N°s des séries.	N°s des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant $2r'$	Diamètre des roues de derrière $2r''$	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	
				m.				m.	k.		k.			m.	
	1			290										1,25	Al
	2			290										1,24	Re
	3			290										1,27	Al
9	4			290										1,20	Re
	5			290										1,23	Al
	6			290										1,16	Re
	1	Route départem. n° 8, de Courbevoie à Bezons, très sèche, couverte de poussière.	Voiture n° 2, porte-corps d'artillerie	190										0,98	Al
	2			190										1,05	Re
	3			190										0,95	Al
10	4			190	4	1,453	1,453	0,115	5518	2413	2413	4	Pas.	1,01	Re
	5			190										0,85	Al
	6			190										1,05	Re
	1			180										1,25	Al
	2			180										1,11	Re
	3			180										1,22	Al
	4			180										1,14	Re
11	5			180										1,18	Al
	6			180										1,05	Re
	7			180										1,13	Al
	8			180										1,13	Re

..OMBRE de tours la roulette du ..mpteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
..,2 ..,3 } 67,2	94,5	$\frac{1}{58,4}$	16,4	78,1	0,0103		Sur la partie libre à gauche de la piste de la voiture n° 1, très sèche, couverte de poussière.
..3 ..0 } 64,6	90,9	$\frac{1}{60,7}$	16,4	74,5	0,0098		
..,6 ..8 } 65,7	92,4	$\frac{1}{59,7}$	16,4	76,0	0,0100		
	Moyenne	$\frac{1}{59,6}$			0,0100		
..2 ..0 } 171,1	367,4	$\frac{1}{15,0}$	16,4	351,0	0,0462	Dynamomètre à compteur de 600 kilog.	Sur la piste de la voiture n° 2, après 1509 passages, couverte de boue épaisse.
..9 ..0 } 171,9	369,1	$\frac{1}{14,9}$	16,4	352,7	0,0464	FE = 408N. $\frac{P_1}{r'}$ = 7595.	
..2 ..5 } 173,3	372,1	$\frac{1}{14,8}$	16,4	355,7	0,0468	$\rho' = \rho'' = 0^m,038$ $f = 0,065$.	
	Moyenne	$\frac{1}{14,9}$			0,0465	$p' = p'' = 346$ kil.	
} 149,5	338,9	$\frac{1}{16,3}$	16,4	322,5	0,0425		Sur la piste de la voiture n° 3, après 1509 passages.
} 149,6	339,1	$\frac{1}{16,3}$	16,4	322,7	0,0425		
} 152,7	346,1	$\frac{1}{15,9}$	16,4	329,7	0,0434		
} 155,3	352,0	$\frac{1}{15,7}$	16,4	335,6	0,0442		
	Moyenne	$\frac{1}{16}$			0,0431		

18. *Examen des résultats consignés dans ce tableau.* — Si l'on examine les résultats consignés dans le tableau ci-dessus, on voit qu'après 824 passages de la voiture n° 1, 818 de la voiture n° 2, et 822 de la voiture n° 3, le tirage de la voiture n° 2, conduite successivement sur les trois pistes, couvertes de boue épaisse, et sur la partie libre de la route, a été trouvé égal sur la piste de la voiture n° 1 à $\frac{1}{19,5}$ environ de la charge et le nombre A=0,0347; sur la piste de la voiture n° 2, le tirage était $\frac{1}{28,4}$ de la pression, et A=0,0233; et sur la piste de la voiture n° 3, le tirage était égal à $\frac{1}{29,9}$ de la charge et A=0,0221, tandis que, sur la partie libre de la route, un peu humide, mais sans boue, le tirage n'était que $\frac{1}{49,4}$ de la pression, et A=0,0125.

Après 978 passages de la voiture n° 1, 994 de la voiture n° 2, et 972 de la voiture n° 3, l'expérience ayant été répétée avec la voiture n° 1, à jantes de 0^m,060, les ornières étant plus mouillées et la boue plus liquide qu'à la précédente, on a eu les résultats suivants :

DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	POIDS transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR de $A=\frac{Rr}{P}$
De la voiture n° 1.	978	k. 5.395 000	$\frac{1}{20,5}$	0,0330
id. 2.	994	5 483 000	$\frac{1}{26,9}$	0,0246
id. 3.	972	5 362 000	$\frac{1}{30,2}$	0,0217

Le 17 juillet, la route a été visitée avec MM. Emmery et Dupuit. Après 1160 passages de chacune des voitures sur sa piste, il a été constaté que la piste de la voiture n° 1, à jantes de 0^m,060, était beaucoup plus dégradée que les deux autres, qu'elle offrait des ornières profondes, qui rendaient la conduite des voitures difficile. Quant aux pistes des deux autres voitures, il n'a pas paru qu'il y eût de différences notables entre elles.

Un accident survenu à l'instrument employé à la mesure du tirage n'a pas permis de le déterminer ce jour-là; mais les expériences précédentes sont d'accord avec l'observation directe de l'état de la route pour montrer que, si les roues de 0^m,060 ont produit beaucoup plus de dégradations que les au-

tres, il y avait eu peu de différence entre les effets occasionnés par les roues de 0m,115 et de 0m,175.

La piste de la voiture n° 1 était trop mauvaise pour qu'on pût y faire continuer les passages sans risquer de blesser les conducteurs ou les chevaux, que le balottement du timon frappait à chaque instant : on se décida en conséquence à arrêter cette voiture et à laisser les deux autres continuer leurs passages, pour reconnaître s'il ne se manifesterait pas quelque différence notable entre l'état de leur piste après une plus longue fréquentation.

Le 24 juillet, après 1509 passages de chacune des voitures n° 2 et n° 3 sur sa piste, la route a été visitée: les ornières formées par la voiture n° 2, à jantes de 0m,115, ont paru un peu plus profondes que celles de la voiture n° 3, à jantes de 0m,175. Les expériences sur le tirage de la voiture n° 2 sur chacune de ces pistes ont donné les résultats suivants.

DÉSIGNATION des pistes.	NOMBRE de passages.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR de $A = \frac{Rr}{P}$
		k.		
N° 2.	1509	8 323 644	$\frac{1}{14,9}$	0,0465
N° 3.	1509	8 326 663	$\frac{1}{16,0}$	0,0341

Ces résultats montrent que les roues de 0m,175 ont un peu moins dégradé la route que celle de 0m,115, mais que la différence est loin d'être en proportion de la largeur des jantes, et qu'en définitive l'avantage des jantes de 0m,175 sur celles de 0m,115 se réduit à fort peu de chose. Il faut ajouter que, si le degré de viabilité des deux pistes était à peu près le même, les ornières de la voiture à roues de 0m,175 de largeur de bande étaient notablement plus larges que celles de la vaiture à roues de 0m,115.

19. *Examen des profils.* — Le relèvement des profils des trois pistes exécutés sur celles de la voiture n° 1 après 1160 passages, et sur celles des deux autres après 1509 passages, sont d'accord avec les observations sur l'intensité du tirage pour montrer que la voiture n° 1, à jantes de 0m,06, avait produit beaucoup plus de dégradations que les voitures nos 2 et 3, et qu'au contraire il y avait peu de différence entre l'état des pistes de ces deux dernières voitures.

20. *Conséquence de ces expériences.* — Cette série d'expériences sur les dé-

gradations produites par des roues de différentes largeurs, à chargements égaux, nous semble donc conduire à cette conclusion, que *sur les routes en empierrement de gravier, et avec des chargements égaux, les roues de* $0^m,060$, *produisent des dégradations notablement plus considérables que celles de* $0^m,115$, *mais qu'au-delà de cette dernière largeur il y a bien peu d'avantages, dans l'intérêt de la conservation des routes, à augmenter la dimension de la bande de roue.*

Cette conséquence est tout à fait conforme à celle que j'avais déduite des précédentes recherches, et que j'avais exprimée en disant que, sur les routes en empierrement, il était inutile de porter la largeur des bandes au delà de $0^m,10$ à $0^m,12$.

EXPÉRIENCES

SUR LES DÉGRADATIONS PRODUITES PAR DES VOITURES DONT LES ROUES ONT LE MÊME DIAMÈTRE ET DES LARGEURS INÉGALES, LES CHARGEMENTS ÉTANT RÉGLÉS PAR LA FORMULE

$$P=150\left(n'+\frac{n-n'}{2}\right)^{k.}$$

21. *But des expériences.* — Puisque, d'une part, il est démontré que, dans l'intérêt de la conservation des routes, il n'est pas exact d'établir les chargements proportionnels à la largeur des bandes; et que, de l'autre, à chargements égaux, les roues les plus étroites dégradent plus que les autres, le rapport du chargement à la largeur, qui produirait des dégradations égales après le transport d'un même poids, est évidemment compris entre les deux limites ci-dessus. Il pouvait donc être utile de rechercher quelle devait être la relation du chargement à la largeur pour obtenir des dégradations égales; mais il était évident que, cette relation ne pouvant être déterminée *a priori*, il était nécessaire de la rechercher par tâtonnement. C'est ce que j'ai entrepris de faire de la manière suivante, sans me flatter d'atteindre de suite la proportion convenable.

J'ai réglé le chargement de la voiture n° 1, à roues de $1^m,449$ de diamètre sur $0^m,60$ de largeur de bande, à raison de 150 kilogrammes par centimètre de largeur de bande, ce que le résultat ultérieur des expériences m'a fait reconnaître excessif. Si la voiture n° 2, à roues de $1^m,453$ de diamètre sur $0^m,115$ de bande, avait été chargée proportionnellement à la largeur de ses bandes, son poids eût été de $150^k \times 4 \times 11^c,5 = 6900$ kil., et aurait surpassé celui de la voiture n° 1 de 3300 k. J'ai réduit cet excès à moitié, ou à 1650 kilog.,

ce qui a fixé le chargement de la voiture n° 2 à 5250 kil. Ce règlement de la charge revient à dire qu'en nommant

P le poids total, véhicule compris ;

n le nombre de centimètres de la largeur de bande de la roue la plus large, multiplié par le nombre de roues ;

n' le nombre de centimètres de la largeur de bande de la roue la plus étroite, multiplié par le nombre de roues ;

le chargement a été réglé par la formule

$$P = 150 \left(n' + \frac{n - n'}{2} \right) \text{k.}$$

Je n'ai pas employé la voiture n° 3, à jantes de 0m,175, dans cette série d'expériences, parce que les précédentes avaient montré que la largeur des jantes n'offre pas d'avantage notable au-delà de 0m,115.

Les voitures, ainsi chargées, ont été conduites sur la route départementale n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, sur la portion comprise entre les deux chemins de fer de Versailles et de Saint-Germain. La voiture n° 1 a parcouru sur le milieu de la chaussée une piste de 125 mètres de longueur, commençant à 20 mètres environ de la 1re borne hectométrique, du côté du viaduc du chemin de fer de Versailles. Un intervalle de 25 mètres, réservé pour le tournant des voitures, séparait cette piste de celle de la voiture n° 2, qui avait également 125 mètres de longueur. Ces deux pistes et leur intervalle occupaient donc sur la route une longueur de 275 mètres (1). Elles étaient en bon état, n'offrant qu'un frayé très léger, peu de gros cailloux à fleur du sol, et à peu près horizontales.

22. *Examen de l'état de la route.* — Les expériences ont été commencées le 12 août, et les pistes continuellement arrosées de six à huit tonneaux d'eau par jour, cubant moyennement 0m c,735 chacun.

Le 4 septembre, après 1380 passages de la voiture n° 1, à jantes de 0m,060,

(1) J'insiste sur ces dimensions parce qu'avant l'exécution de ces expériences il en avait été fait d'autres dans lesquelles une voiture de 2m,029 de diamètre avait circulé sur une étendue de 200 mètres à partir de la première borne hectométrique, près du viaduc du chemin de fer de Versailles. Entre cette piste de 200 mètres, qui n'avait présenté aucune apparence de désaggrégation ni augmentation de tirage après les expériences, dont il sera rendu compte au n° 48 et suivants, et la 2e piste, parcourue par une voiture à roues de 1m,453 de diamètre, et qui avait été fort dégradée, il y avait un intervalle de 50 mètres. On voit donc que la série d'expériences qui nous occupe, ayant été commencée à 20 mètres en deçà de la borne du côté du viaduc, a été en entier exécutée sur la piste en très bon état de la voiture à grandes roues. C'était pour se renfermer dans ces limites que les voitures ne parcouraient que 125 mètres.

sur sa piste, et 1388 de la voiture n° 2, à jantes de 0m,115, sur la sienne, les deux pistes ne présentaient que peu de différence : celle de la voiture n° 1 avait des ornières un peu plus étroites et plus ondulées; celles de la voiture n° 2 étaient un peu plus larges.

23. *Mesure de l'intensité du tirage.* — Des expériences sur l'intensité du tirage de la voiture n° 1 ont été faites sur les deux pistes et sur la partie libre et alors humide de la route située au-delà, en ayant soin de passer à côté du frayé produit par les anciennes expériences. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant, qui contient aussi ceux des expériences faites le lendemain sur les mêmes pistes avec une voiture à jantes de 0m,175 de largeur, pour montrer l'excès du tirage qu'éprouvent des jantes larges en passant dans des ornières étroites.

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	S…
				m.		m.	m.		k.	k.	k.			m.	
1	1			200										1,58	Alle…
	2			200										1,60	Reto…
	3			200										1,39	Alle…
	4			200										1,60	Reto…
	5			200										1,30	Alle…
	6			200										1,30	Reto…
	7			200										1,30	Aller.
	8			200										1,35	Retou…
2	1			125										1,00	Aller.
	2			125										1,01	Retour
	3			125										1,05	Aller.
	4	Route de Courbevoie à Colombes, humide, sans boue, en très bon état.	Porte-corps d'artillerie, voiture n. 1.	125	4	1,449	1,449	0,060	3608	1592	1592	4	Pas	1,01	Retour
	5			125										0,95	Aller.
	6			125										0,98	Retour.
	7			125										1,[illegible]7	Aller.
	8			125										1,06	Retou…
3	1			125										1,02	Aller
	2			125										1,02	Retou…
	3			125										1,05	Aller.
	4			125										1,0[illegible]	Retou…
	5			125										1,05	Alle…
	6			125										0,96	Reto…
	7			125										1,06	Alle…
	8			125										0,98	Reto…

largeurs inégales, les chargements étant réglés par la formule $P = 150\left(n + \frac{n - n'}{2}\right)$ kil.

BRE ours oulette eur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
42,8	91,5	$\frac{1}{39,4}$	10,8	80,7	0,0162		Partie libre de la route sur la trace du frayé.
40,9	87,4	$\frac{1}{40,4}$	10,8	76,6	0,0154		
41,8	89,3	$\frac{1}{40,4}$	10,8	78,5	0,0158		Entre les traces du frayé, sur une partie très unie, un peu humide.
36,0	76,9	$\frac{1}{46,9}$	10,8	66,1	0,0133		
	Moyenne.	$\frac{1}{41,8}$		Moyenne.	0,0152		
59,0	201,8	$\frac{1}{17,9}$	10,8	191,0	0,0384	Dynamomètre à compteur. FE = 427,5 N. $\frac{P}{r'} = 4980.$	Sur la piste de la voiture n. 1, après 1380 passages.
56,1	191,9	$\frac{1}{19,3}$	10,8	181,1	0,0364		
54,6	186,7	$\frac{1}{19,3}$	10,8	175,9	0,0353		
53,6	190,2	$\frac{1}{19,0}$	10,8	179,4	0,0360	$\frac{f\rho}{r} = 0,0041.$ $f = 0,065.$ $\rho' = \rho'' = 0^m,038.$	
	Moyenne.	$\frac{1}{18,9}$		Moyenne.	0,0365	$p' = p'' = 212^k.$	
60,8	207,9	$\frac{1}{17,4}$	10,8	197,1	0,0396		1er passage : le tirage est plus grand sur la piste de la voiture n. 2, après 1388 passages.
50,8	173,7	$\frac{1}{20,8}$	10,8	162,9	0,0327		
53,3	182,3	$\frac{1}{19,8}$	10,8	171,5	0,0344		
53,6	190,2	$\frac{1}{19,0}$	10,8	179,4	0,0360		
	Moyenne.	$\frac{1}{19,9}$		Moyenne.	0,0344		

N°s DES SÉRIES.	N°s DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	[illegible]
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
4	1			200										1,2[illegible]	[illegible]
	2			200										1,26	[illegible]
	3			200										1,18	[illegible]
	4			200										1,27	[illegible]
	5			200										1,2[illegible]	[illegible]
	6			200										1,2[illegible]	[illegible]
	7			200										1,34	[illegible]
	8			200										1,70	[illegible]
5	1			125										0,9[illegible]	[illegible]
	2			125										0,8[illegible]	[illegible]
	3			125										0,8[illegible]	[illegible]
	4	Route de Courbevoie à Colombes.	Porte-corps d'artillerie, voiture n. 3.	125	4	1,438	1,438	0,175	3464	1260	1260	4	Pa[illegible]	0,8[illegible]	[illegible]
	5			125										0,[illegible]	[illegible]
	6			125										0,8[illegible]	[illegible]
	7			125										0,9[illegible]	[illegible]
	8			125										1,05	[illegible]
6	1			125										1,0[illegible]	[illegible]
	2			125										0,9[illegible]	[illegible]
	3			125										[illegible]	[illegible]
	4			125										0,8[illegible]	[illegible]
	5			125										0,9[illegible]	[illegible]
	6			125										0,8[illegible]	[illegible]
	7			125										0,8[illegible]	[illegible]
	8			125										0,99	[illegible]

[N]OMBRE de tours [de] la roulette du [co]mpteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
,2 / ,2 } 35,2	87,2	$\frac{1}{39,7}$	8,7	78,5	0,0163		Sur la partie libre de la route, très peu humide.
,0 / ,0 } 33,0	81,8	$\frac{1}{42,3}$	8,7	73,1	0,0151		
,5 / ,0 } 32,7	81,0	$\frac{1}{42,7}$	8,7	72,3	0,0150		
,5 / ,0 } 32,7	81,0	$\frac{1}{42,7}$	8,7	72,3	0,0150		
	Moyenne	$\frac{1}{41,8}$		Moyenne	0,0154		
,5 / ,6 } 68,5	271,5	$\frac{1}{12,7}$	8,7	262,8	0,0545		Sur la piste de la voiture n. 1, après 1440 passages, boue liquide, ornières.
,7 / ,0 } 55,3	219,2	$\frac{1}{15,8}$	8,7	210,5	0,0437	Dynamomètre à compteur de 600k. $\frac{P_s}{r'} = 4818$. FE = 495,5N.	
,4 / ,2 } 55,8	221,2	$\frac{1}{15,7}$	8,7	212,5	0,0441	$\rho' = \rho'' = 0^m,038$. $f = 0,065$. $\frac{f\rho'}{r'} = 0,00344$.	
,8 / ,1 } 56,4	223,6	$\frac{1}{15,5}$	8,7	214,9	0,0446	$p' = p'' = 236$ k.	
	Moyenne	$\frac{1}{14,9}$		Moyenne	0,0467		
,0 / ,6 } 61,3	243,0	$\frac{1}{14,3}$	8,7	2[illegible]4,3	0,0486		Sur la piste de la voiture n. 2, après 1388 passages boue liquide, ornières.
,2 / ,4 } 55,3	219,2	$\frac{1}{15,8}$	8,7	210,5	0,0437		
,8 / ,1 } 49,9	197,8	$\frac{1}{17,5}$	8,7	189,1	0,0393		
,0 / ,9 } 45,4	180,0	$\frac{1}{19,2}$	8,7	171,3	0,0356		
	Moyenne	$\frac{1}{16,7}$			0,0418		

EXPÉRIENCES ***sur les dégradations produites par des voitures dont les roues ont le même diam…***

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvement
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
	1			200										1,39	Aller.
	2			200										1,48	Retour
	3			200										1,58	Aller.
7	4			200										1,31	Retour.
	5			200										»	Aller.
	6			200										1,35	Retour
	7			200										1,29	Aller.
	8			200										»	Retour.
	1			125										0,95	Aller.
	2			125										0,95	Retour.
	3			125										1,22	Aller.
	4			125										1,05	Retour.
9	5	Route de Courbevoie à Colombes.	Porte-corps d'artillerie, voiture n. 1.	125	4	1,449	1,449	0,060	3608	1592	1592	4	Pas	0,99	Aller.
	6			125										1,00	Retour.
	7			125										1,00	Aller.
	8			125										1,20	Retour.
	1			125										1,14	Aller
	2			125										1,14	Retour
	3			125										1,30	Aller.
10	4			125										1,29	Retour.
	5			125										1,17	Aller
	6			125										1,08	Retour.
	7			125										1,13	Aller.
	8			125										1,11	Retour.

…es largeurs inégales, les chargements étant réglés par la formule $P = 150 \left(n + \frac{n - n'}{2}\right)$ kil.

…OMBRE …le tours …a roulette du …mpteur.		EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
		k.			k.			
,7 ,0	30,8	65,8	$\frac{1}{54,8}$	10,9	54,9	0,0110		Sur la partie libre de la route, sèche, avec un peu de poussière.
,6 ,0	30,8	65,8	$\frac{1}{54,8}$	10,9	54,9	0,0110		
,0 ,5	29,2	62,4	$\frac{1}{57,8}$	10,9	51,5	0,0103		
2,7 5,8	29,3	62,6	$\frac{1}{57,6}$	10,9	51,7	0,0104		
		Moyenne.	$\frac{1}{56,3}$		Moyenne.	0,0108		
0,0 6,0	58,0	198,3	$\frac{1}{18,2}$	10,9	187,4	0,0376		Sur la piste de la voiture n. 1, après 1992 passages.
4,7 4,2	54,5	186,0	$\frac{1}{19,4}$	10,9	175,1	0,0352	Dynamomètre à compteur. FE = 427,5N.	
3,8 4,0	5[illegible],9	184,3	$\frac{1}{19,6}$	10,9	173,4	0,0348	$\frac{P_1}{r'} = 4980.$ $\rho' = \rho'' = 0^m,038.$ $f = 0,065.$	
0,2 2,5	51,4	175,4	$\frac{1}{19,6}$	10,9	164,5	0,0330	$\frac{f\rho'}{r'} = 0,00341.$ $p' = p'' = 212$ k.	
		Moyenne.	$\frac{1}{19,2}$		Moyenne.	0,0352		
7,8 8,1	47,9	163,8	$\frac{1}{22}$	10,9	152,9	0,0307		Sur la piste de la voiture n. 2, après 1398 passages.
4,5 5,1	44,8	153,2	$\frac{1}{23,5}$	10,9	142,3	0,0286		
4,0 5,3	44,6	152,5	$\frac{1}{23,7}$	10,9	141,6	0,0284		
5,7 3,5	44,6	152,5	$\frac{1}{23,7}$	10,9	141,6	0,0284		
		Moyenne.	$\frac{1}{23,2}$		Moyenne.	0,0290		

24. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent.* — Les résultats contenus dans le tableau précédent donnent les valeurs moyennes suivantes.

DÉSIGNATION des pistes.	NOMBRE de passages.	POIDS transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR de $A = \frac{Rr}{P_1}$
Voiture n° 1, chargée de 3608 k.	1380	4 979 040	$\frac{1}{19,9}$	0,0344
Voiture n° 2, chargée de 5250 k.	1388	7 287 000	$\frac{1}{18,9}$	0,0365
Partie libre — très sèche	»	»	$\frac{1}{56,3}$	0,0108
Partie libre — humide	»	»	$\frac{1}{41,8}$	0,0152

Ces résultats montrent que, sur les deux pistes, l'augmentation de tirage produite par 1388 par passages environ était la même.

25. *Désavantage des roues à larges jantes sur les routes à ornières.* — Les expériences faites avec la voiture n° 3, à roues de 1^m,438 de diamètre, 0^m,175 de largeur de jantes, ont donné les résultats moyens suivants.

DÉSIGNATION des pistes.	NOMBRE de passages.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR de $A = \frac{Rr}{P}$
Voiture n° 1, chargée de 3608 k.	1440	5 195 520	$\frac{1}{14,9}$	0,0467
Voiture n° 2, chargée de 5250 k.	1388	7 287 000	$\frac{}{16,7}$	0,0418
Partie libre de la route, très peu humide.	»	»	$\frac{1}{41,8}$	0,0154

Ces résultats, comparés à ceux du tableau précédent, montrent combien une voiture à jantes larges éprouve de désavantage quand elle passe dans les ornières des voitures à jantes étroites; et je dois faire remarquer que, la boue étant liquide et les ornières remplies d'eau, cette augmentation était encore bien moins forte que si la boue avait été épaisse ou collante.

L'excès du tirage de la voiture à roues de 0^m,175 sur celui de la voiture à

jantes de $0^m,60$ étant beaucoup plus faible quand ces deux voitures passaient sur la piste de la voiture nº 2, dont les jantes, de $0^m,115$, avaient ouvert une ornière plus large, on voit qu'il y aurait pour le roulage un avantage notable à ce que les largeurs fussent comprises entre des limites moins écartées que dans l'état actuel des choses.

26. *Examen des profils.* — Des profils des deux pistes ont été relevés après que les deux voitures nº 1 et nº 2 eurent exécuté les nombres respectifs de 1380 et 1388 passages, et les résultats de cette opération ont montré qu'après des nombres égaux de passages les deux voitures avaient produit des ornières à peu près égales, ce qui est d'accord avec les résultats des expériences directes sur le tirage.

27. *Résultat du transport d'un poids égal.* — Pour constater les résultats du transport d'un même poids par les voitures nº 1 et nº 2, chargées comme il est dit au nº 21, on a fait continuer la marche de la voiture nº 1 jusqu'à ce qu'elle eût accompli un nombre de passages qui fût, à celui de la voiture nº 2, en raison inverse de leurs chargements.

La voiture nº 2 ayant 1388 passages avec un chargement de 5250 kilogr., elle avait transporté un poids de 7 287 000 kilogrammes.

La voiture nº 1 a exécuté 1992 passages avec un chargement de 3600 kilogrammes, ce qui correspond à un transport de 7 187 136 kilogrammes.

Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau précédent, et peuvent être résumés ainsi qu'il suit (1).

DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	POIDS transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR de $A = \frac{Rr}{P}$
Partie libre de la route, un peu humide.	»	»	$\frac{1}{41,8}$	0,0152
Id. très sèche.	»	»	$\frac{1}{56,3}$	0,0108
Voiture nº 1	1992	7 187 136	$\frac{}{19,2}$	0,0332
Voiture nº 2.	1388	7 287 000	$\frac{1}{23,2}$	0,0290

(1) Nous ferons remarquer que, bien que les chiffres de ce tableau indiquent, après 1992 passages de la voiture nº 1 sur sa piste, à peu près le même tirage qu'après 1388 passages, il n'y a pas lieu d'en conclure que le tirage sur des routes homogènes n'augmente

28. *Conséquences de ces expériences.* — Ces résultats nous montrent qu'après le transport d'un même poids par les voitures n° 1, à jantes de 0m,060, et n° 2, à jantes de 0m,115, l'augmentation du tirage sur la piste de la voiture n° 1 n'excédait que de $\frac{1}{6}$ environ celle qui avait été produite sur la piste de la voiture n° 2.

Il suit de là que le chargement qui, sur la voiture n° 2, aurait produit des dégradations à peu près égales à celles de la voiture n° 1, aurait pu être un peu plus fort que celui qui avait été adopté.

29. *Observations sur l'effet d'un chargement de* 5250 *kilogrammes porté sur* 4 *roues de* 0m,115 *de largeur de bande.* — On remarquera que la voiture n° 2, après 1388 passages, correspondant au transport de 7 287 000 kilogrammes, nous a donné, pour la constante A,

Une fois, avec de la boue molle. . . . . A=0,0365

Et une autre fois, avec de la boue liquide. . . . . . . A=0,0290

Ce qui établit en moyenne. . . . . A=0,0327

pour une route constamment mouillée d'une quantité d'eau qui excède de beaucoup celle qui tombe dans les saisons pluvieuses. Or, si l'on se rappelle que, sur la route départementale n° 8, en empierrement de même nature, après l'hiver, à la fin de mars, après des pluies continuelles, couverte de boue, la valeur de la même constante a été trouvée égale à A=0,0275, on voit que le passage d'un poids de 5250 kilogrammes répété 1388 fois sur la même piste n'a pas produit dans le tirage une augmentation bien considérable, et si l'on réfléchit qu'en s'abstenant de tout entretien, et par la fréquentation aussi exacte que possible sur les mêmes traces, après un arrosage continuel et excessif, on s'est placé dans des circonstances très défavorables pour la conservation des routes, on pourra sans doute admettre que ce chargement de 5250 kilogrammes sur une voiture à 4 roues, correspondant à 114 kilogrammes par centimètre de largeur de jante, est inférieur à celui que l'on peut permettre, dans les saisons pluvieuses, à des voitures de 0m,115 de largeur de jante, sur des routes en empierrement de gravier dur. Ce qui confirme cette conclusion, c'est que les expériences faites sur la route départementale n° 8 (rapportées au n° 17) nous ont montré qu'après 994 passages de la voiture n° 2, chargée de 5516 kilogrammes, ce qui correspond

pas en même temps que le nombre des passages et la profondeur des ornières. La différence observée ici tient uniquement à ce que la boue était plus liquide dans les dernières expériences que dans les premières. Ce qui le prouve, c'est que le tirage, mesuré le même jour sur la piste de la voiture n° 2, après 1388 passages, y a été aussi trouvé moindre, quoiqu'elle soit restée au même état et ait été entretenue mouillée et fréquentée.

au transport de 5 485 000 kilogrammes sur la même piste, constamment mouillée et entretenue boueuse, le tirage n'était que de $\frac{1}{26,9}$ de la charge, et la constante A = 0,0246, c'est-à-dire un peu inférieure ou sensiblement égale à ce qu'elle était sur la même route entretenue à la fin de l'hiver et dans un état ordinaire de fréquentation.

Je dois faire remarquer, comme une réserve dont on sentira l'importance plus tard, que les voitures avec lesquelles ces expériences ont été faites avaient des roues égales, et de $1^m,45$ environ de diamètre.

30. *Observation relative à la voiture n° 1, à jantes de $0^m,060$, et aux voitures comtoises.* — Une autre conséquence qu'il importe de signaler, et qui résulte de la première série d'expériences sur l'influence des largeurs de jantes, c'est que la voiture n° 1, à jantes de $0^m,060$, avec un chargement de 2408 kilogrammes, et après 1486 passages sur sa piste, presque toujours mouillée, où un transport de 3 578 000 kilogrammes n'avait occasionné aucune augmentation dans le tirage, ni aucune ornière ni frayé apparent sur la route, quoiqu'en parcourant sans cesse les mêmes traces on se soit mis dans des conditions analogues à celles du passage des voitures comtoises, moins l'entretien de la route. Le chargement de 2400 kilogrammes excédant de 5 à 600 kilogrammes celui que ces voitures transportent ordinairement, on voit que, sur les routes en empierrement ordinaire, et même dans la saison des pluies, l'usage des voitures dont les dimensions sont très voisines de celles que nous avons adoptées n'est pas aussi défavorable aux routes qu'on le suppose. Ici encore je dois faire remarquer que je ne parle que des routes solides et des temps de pluies, et non des époques de dégel.

31. *L'intensité du tirage croît avec les dégradations.* — Je ne terminerai pas ce chapitre sans faire remarquer la marche des augmentations du tirage à proportion du nombre des passages. On voit, en effet, que, dans la série des expériences faites sur des voitures à roues de même diamètre et de largeurs inégales, dont les pistes ont, autant que possible, été entretenues à peu près également mouillées, on a trouvé les résultats suivants (tableau du n° 17).

DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	CHARGE.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge.	VALEUR du coefficient A.
Voiture n° 2.	818	5518	4 513 724	$\frac{1}{28,4}$	0,0233
	1509	»	8 326 661	$\frac{1}{14,9}$	0,0465
Voiture n° 3.	822	5516	4 534 152	$\frac{1}{29,9}$	0,0221
	1509	»	8 323 644	$\frac{1}{16,0}$	0,0431

Ces résultats, relatifs à la série d'expériences faites sur la route départementale n° 8, où les deux pistes des voitures n°s 2 et 3 étaient très voisines de la pompe à laquelle on allait remplir les tonneaux, et pouvaient être facilement maintenues à un état sensiblement uniforme d'humidité, nous montrent que la résistance au tirage croît avec le nombre des passages ; et comme il est évident que les dégradations sur une chaussée à peu près homogène doivent aussi croître avec le nombre des passages, on voit que, sur ces chaussées, la mesure des accroissements du tirage, quand on peut la prendre dans des circonstances identiques, est, pour l'appréciation de la marche des dégradations, un moyen non pas rigoureusement exact, mais dont les indications marchent dans le même sens que la destruction des routes. Nous avons signalé et nous ferons encore remarquer des cas où le chiffre du tirage a paru ne pas indiquer aussi bien la marche des dégradations ; mais alors l'état de la route n'était pas le même, ainsi qu'on peut le voir en tenant compte de l'indication de cet état mentionné dans la colonne d'observations.

EXPÉRIENCES

SUR LES EFFETS DESTRUCTEURS PRODUITS PAR DES ROUES DE MÊME LARGEUR ET DE DIAMÈTRES DIFFÉRENTS.

32. *But de ces expériences.* — La diminution rapide du tirage, à mesure que le diamètre des roues augmente, l'observation du mode d'action des roues sur les obstacles qu'elles rencontrent, et quelques résultats d'expériences directes sur la dégradation que les roues de diamètres différents produisent sur les routes, m'avaient conduit, dans mon premier mémoire, à conclure que les dégradations produites par les voitures sur les routes sont d'autant plus grandes que les roues sont plus petites. Les conséquences qui résulteraient de cette loi, si elle était bien établie, étaient assez importantes pour qu'il fût nécessaire de la constater et de la vérifier de nouveau par l'expérience.

33. *Moyens employés.* — Pour y parvenir, j'ai fait monter les trois porte-corps d'artillerie employés aux expériences précédentes, l'un, conservant le n° 1, sur quatre roues égales de $0^m,872$ de diamètre sur $0^m,115$ de largeur de bandes ; le second, désigné par le n° 2, a conservé les roues de $1^m,453$ sur $0^m,115$ de largeur de jante, et le troisième, indiqué par le n° 3, a reçu des roues de $2^m,029$ de diamètre sur $0^m,115$ de large. Ces trois voitures ont été chargées du même poids, d'abord égal à 4692 kil., puis à 4930 environ, véhicule compris.

Trois pistes de 200 mètres chacune ont été choisies sur la route départe-

mentale n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, entre les deux chemins de fer de Versailles et de Saint-Germain. La première, affectée à la voiture n° 3, à roues de 2m,029 de diamètre, commençait à la première borne hectométrique, près du viaduc du chemin de fer de Versailles, et se terminait à la troisième borne ; un intervalle de 50 mètres séparait cette piste de la deuxième, assignée à la voiture n° 2, à roues de 1m,453 de diamètre, et qui se terminait à 50 mètres au-delà de la cinquième borne hectométrique. La troisième piste, réservée à la voiture n° 1, à roues de 0m,872 de diamètre, commençait à la sixième borne et finissait à la huitième. La route, à peu près horizontale sur toute l'étendue de ces trois pistes, était en bon état lorsque l'on commença les expériences ; elle présentait un léger frayé dans lequel il y avait de la poussière et des débris de quelques matériaux désaggrégés employés environ deux mois auparavant, et que la sécheresse et la fréquentation journalière avaient empêchés de se lier. Cette série d'expériences était d'ailleurs la première qui s'exécutât sur cette route, dont l'épaisseur a été trouvée, par plusieurs sondages, de 0m,30 à 0m,35.

Le temps était très sec depuis plus de quinze jours lorsque l'on commença les expériences, le lundi 6 mai ; il resta le même pendant toute leur durée.

Par cette sécheresse, les roues des voitures brisaient une partie des matériaux, les désaggrégeaient un peu, mais l'effet destructeur était fort lent. La couche des matériaux broyés ou séparés restait au fond de l'ornière et préservait ceux qui étaient au-dessous. En examinant les pistes, j'ai trouvé que ces matériaux, ainsi séparés, formaient une couche de 0m,04 à 0m,05 d'épaisseur, et quelquefois plus, dans la piste de la voiture n° 1, à roues de 0m,872 de diamètre, dont les ornières étaient très marquées après 1054 passages ; qu'à celle de la voiture n° 2, à roues de 1m,453 de diamètre, après 1084 passages, cette couche n'avait que 0m,02 à 0m,03 environ ; enfin, qu'à la piste de la voiture n° 3, à roues de 2m,029 de diamètre, après 1038 passages, elle avait au plus 0m,01 à 0m,02.

On avait eu soin de faire balayer la route tous les jours, mais en recommandant bien de ne le faire qu'avec des balais doux, pour enlever seulement la poussière, sans déplacer les débris qui résistaient encore au passage des roues.

34. *Arrosage des pistes.* — La lenteur avec laquelle cette série d'expériences avançait me décida à faire arroser matin et soir chacune des pistes, de manière à les entretenir dans un état continuel d'humidité, pour faciliter l'expulsion des matériaux désaggrégés, obtenir des résultats plus rapides et plus tranchés. En conséquence, à partir du 1er juin, on y versa journellement

six à sept tonneaux d'eau, formant ensemble un volume de $4^{mc},7$ à $5^{mc},48$, qui, répandus sur les trois pistes, y produisait une grande humidité.

Les effets destructeurs se manifestèrent alors plus rapidement, et les différences entre les trois pistes devinrent bien visibles. Celle de la voiture n° 1, à roues de $0^{m},872$, présentait des ornières profondes, et dont le fond inégal rendait la conduite de la voiture difficile; celle de la voiture n° 2, à roues de $1^{m},453$, offrait des ornières bien marquées, à peu près aussi profondes que la précédente, mais plus égales et moins ondulées; enfin, la piste de la voiture n° 3, à roues de $2^{m},029$, n'offrait qu'un frayé à peine sensible.

35. *Expériences sur l'intensité du tirage.* — Les expériences sur l'intensité du tirage ont été faites sur ces trois pistes, après 1000 passages environ, exécutés par une sécheresse continuelle et après 1580 passages exécutés pendant l'arrosage.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvem
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
1	1			214										1,36	Aller.
	2			214										1,26	Retour.
	3			214										1,36	Aller.
	4			214										1,22	Retour.
2	1			200										1,18	Aller.
	2			200										1,17	Retour.
	3			200										1,23	Aller.
	4			200										1,16	Retour.
		Route de Courbevoie à Colombes.	Porte-corps d'artillerie, Voiture n. 2.		4	1,453	1,453	0,115	4692	2000	2000	4	Pas		
3	1			200										1,11	Aller.
	2			200										1,27	Retour.
	3			200										1,25	Aller.
	4			200										1,25	Retour.
4	1			200										1,24	Aller.
	2			200										1,21	Retour.
	3			200										1,28	Aller.
	4			200										1,18	Retour.
5	1													1,06	Aller.
	2													1,05	Retour.
	3													1,07	Aller.
	4	Idem.	Porte-corps d'artillerie, Voiture n. 1.	200	4	0,872	0,872	0,115	4924	2234	2234	4	Pas	1,11	Retour.
	5													1,04	Aller.
	6													1,07	Retour.

Nota. Les expériences des quatre premières séries ont été faites après des passages exécutés pendant un temps extrêmement sec. Les ornière
il est tombé un grain de pluie avant que l'on sortit, et quand on est arrivé sur la route elle était un peu humide; mais le soleil l'a rapidem
immédiatement après la première de la série précédente. La partie libre était plus abritée que les pistes et surtout que celle de la voiture n° 3, d

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
		k.		k.	k.	k.		
9,7 0,9	40,3	76,8	$\frac{1}{64,0}$	13,6	63,2	0,0098		Partie libre de la route, en très bon état.
8,5 8,8	38,6	73,5	$\frac{1}{65,8}$	13,6	59,9	0,0093		
		Moyenne	$\frac{1}{62,4}$			0,0095		
53,3 5,8	39,5	80,6	$\frac{1}{58,2}$	13,6	67,0	0,0104		Sur la piste de la voiture n° 1, après 1020 passages.
50,0 4,2	37,1	75,7	$\frac{1}{62,0}$	13,6	62,1	0,0096		
		Moyenne	$\frac{1}{60,1}$			0,0100	Dynamomètre à compteur de 600 kil. FE=408N. $\frac{P_1}{r'}=6458$. $\rho=0^m,038$. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00341$. $p'=p''=346$ k.	
43,5 39,5	41,5	84,7	$\frac{1}{55,4}$	13,6	71,1	0,0110		Sur la piste de la voiture n° 2, après 1012 passages.
41,0 33,2	38,1	77,7	$\frac{1}{60,4}$	13,6	64,1	0,0099		
		Moyenne	$\frac{1}{57,9}$			0,0104		
44,0 35,8	39,9	81,4	$\frac{1}{57,6}$	13,6	67,8	0,0105		Sur la piste de la voiture n° 3, après 970 passages.
35,0 34,0	34,5	70,4	$\frac{1}{66,6}$	13,6	56,8	0,0088		
		Moyenne	$\frac{1}{62,1}$			0,0096		
206.5 227,6	217	287,8	$\frac{1}{17,1}$	25,3	262,5	0,0232		Piste de la voiture n° 1, après 1544 passages; ornières mouillées, boue épaisse.
193,5 224,5	209	277,2	$\frac{1}{17,8}$	25,3	251,9	0,0223	Dynamomètre à compteur. FE=265,3N. $\frac{P_1}{r'}=11294$. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00567$. $p'=p''=228$ k.	
93,0 251,6	222,3	294,9	$\frac{1}{16,7}$	25,3	269,6	0,0239		
		Moyenne	$\frac{1}{17,2}$			0,0231		

…ne indiquées, étaient remplies de poussière et de débris qui ne se déplaçaient pas notablement au passage des roues. Le jour où elles ont été faites …hée, et c'est ce qui explique comment le tirage a toujours été en diminuant dans chaque série. La première expérience de chaque série était faite …t par suite un peu plus humide au commencement.

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	SEN[illegible] du mouv[illegible]
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
6	1	Route de Courbevoie à Colombes.	Porte-corps d'artillerie, voiture no 1.	200	4	0,872	0,872	0,115	4924	2234	2234	6	Pas	1,11	Aller.
	2													1,10	Retour
	3													1,11	Aller.
	4													1,08	Retour
	5													1,04	Aller.
	6													1,07	Retour
7	1													1,20	Aller.
	2													1,25	Retour
	3													1,20	Aller.
	4													1,19	Retour
	5													1,05	Aller
	6													1,20	Retour
8	1													1,18	Aller.
	2													1,15	Retour
	3													1,24	Aller.
	4													1,18	Retour
9	1	Idem.	Porte-corps d'artillerie, voiture no 2.	200	4	1,453	1,453	0,115	4930	2119	2119	4	Pas	1,07	Aller.
	2													0,97	Retour
	3													0,95	Aller.
	4													0,94	Retour
10	1													1,05	Aller.
	2													1,10	Retour
	3													0,96	Aller.
	4													0,99	Retour

me largeur et de diamètres différents.

BRE ours oulette u teur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
217,8	288,9	$\frac{1}{17,0}$	25,3	263,6	0,0233		
209,0	277,2	$\frac{1}{17,8}$	25,3	251,9	0,0223		Piste de la voiture n° 2 après 1540 passages; ornières mouillées, boue épaisse.
214,1	284,0	$\frac{1}{17,3}$	25,3	258,7	0,0229		
	Moyenne	$\frac{1}{17,4}$			0,0228	Dynamomètre à compteur. FE = 265,3N. $\frac{P_1}{r'}$ = 11294.	
164,9	218,7	$\frac{1}{22,5}$	25,3	193,4	0,0171		
161,1	213,7	$\frac{1}{23,0}$	25,3	188,4	0,0167		Piste de la voiture n° 3, après 1556 passages, mouillée, un peu de boue.
167,7	222,5	$\frac{1}{22,1}$	25,3	197,2	0,0175		
	Moyenne	$\frac{1}{22,5}$			0,0171		
59,9	122,2	$\frac{1}{40,3}$	14,4	107,8	0,0159		Partie libre, humide.
63,0	128,5	$\frac{1}{38,4}$	14,4	114,1	0,0168		
	Moyenne	$\frac{1}{39,4}$			0,0163		
95,8	195,4	$\frac{1}{25,2}$	14,4	181,0	0,0267	FE = 408 N. $\frac{P_1}{r'}$ = 6786.	Piste de la voiture n° 1, après 1576 passages; ornières, boue molle.
97,7	199,3	$\frac{1}{24,7}$	14,4	184,9	0,0272		
	Moyenne	$\frac{1}{25,0}$			0,0265		
101,2	206,4	$\frac{1}{23,9}$	14,4	192,0	0,0283		Piste de la voiture n° 2, après 1572 passages; ornières, boue molle.
100,6	205,2	$\frac{1}{24,0}$	14,4	190,8	0,0281		
	Moyenne	$\frac{1}{24,0}$			0,0282		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	de derrière $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	sur les essieux de devant P'	de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	SENS du mouvem
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
11	1													1,10	Aller.
	2													0,87	Retour.
	3													1,12	Aller.
	4													1,10	Retour.
12	1													1,26	Aller.
	2													1,21	Retour.
	3													1,43	Aller.
	4													1,18	Retour.
13	1													1,20	Aller.
	2													1,03	Retour.
	3													1,10	Aller.
	4													1,01	Retour.
	5													0,88	Aller.
	6	Route de Courbevoie à Colombes.	Porte-corps d'artillerie, voiture n. 2.	200	4	1,453	1,453	0,115	4930	2119	2119	4	Pas	1,09	Retour.
14	1													1,11	Aller.
	2													1,14	Retour.
	3													1,09	Aller.
	4													1,11	Retour.
	5													1,29	Aller.
	6													1,17	Retour.
15	1													1,29	Aller.
	2													1,22	Retour.
	3													1,28	Aller.
	4													1,17	Retour.
	5													1,23	Aller.
	6													1,17	Retour.

même largeur et de diamètres différents.

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
		k.		k.	k.			
,3 ,5	81,9	167,1	$\frac{1}{29,5}$	14,4	152,7	0,0225		Piste de la voiture n° 3, après 1590 passages, frayé peu sensible, mouillé, un peu de boue.
,8 ,0	81,9	167,1	$\frac{1}{29,5}$	14,4	152,7	0,0225		
		Moyenne	$\frac{1}{29,5}$			0,0225		
,7 ,0	58,8	120,0	$\frac{1}{41,1}$	14,4	105,6	0,0156		Partie libre humide.
,3 ,8	54,0	110,2	$\frac{1}{44,7}$	14,4	95,8	0,0141		
		Moyenne	$\frac{1}{42,9}$			0,0148		
,3 ,5	86,4	176,2	$\frac{1}{28,0}$	14,4	161,8	0,0238		Piste de la voiture n° 1, après 2030 passages, ornières profondes, avec beaucoup d'eau.
,0 ,0	82,5	168,3	$\frac{1}{29,3}$	14,4	153,9	0,0227	Dynamomètre à compteur. FE = 408,N. $\frac{P}{r'}$ = 6786.	
,0 ,0	81,0	163,2	$\frac{1}{29,8}$	14,4	150,8	0,0222		
		Moyenne	$\frac{1}{29,0}$			0,0229		
,8 2,5	79,1	161,4	$\frac{1}{30,5}$	14,4	147,0	0,0217		Piste de la voiture n° 2, après 2030 passages, ornières profondes, avec beaucoup d'eau.
6,7 8,0	72,3	147,5	$\frac{1}{33,4}$	14,4	133,1	0,0196		
5,0 9,2	72,1	147,1	$\frac{1}{33,5}$	14,4	132,7	0,0196		
		Moyenne	$\frac{1}{34,5}$			0,02 03		
,0 ,0	55,0	112,2	$\frac{1}{43,9}$	14,4	97,8	0,0144		Piste de la voiture n° 3, frayé à peine sensible, très peu de boue après 2030 passages.
,2 ,0	50,1	102,2	$\frac{1}{48,2}$	14,4	87,8	0,0129		
,1 ,8	50,0	102,0	$\frac{1}{48,3}$	14,4	87,6	0,0129		
		Moyenne	$\frac{1}{46,8}$			0,0134		

36. ***Résumé des résultats contenus dans le tableau précédent.*** — Pour discuter plus facilement les résultats contenus dans le tableau précédent, nous les avons résumés ainsi qu'il suit :

VOITURE employée aux expériences.	DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge	VALEUR de la constante A	OBSERVATIONS
Porte-corps d'artillerie n° 2.	Partie libre de la route, très sèche.	»	»	$\frac{1}{62,4}$	0,0095	Après et par une grande sécheresse, route balayée, peu d'ornières, sans poussière.
	Piste de la voiture n. 1.	1020	4 785 840	$\frac{1}{60,1}$	0,0100	
	Idem n° 2.	1012	4 748 304	$\frac{1}{57,9}$	0,0104	
	Idem n° 3.	970	4 551 240	$\frac{1}{62,1}$	0,0096	
Porte-corps d'artillerie n° 1.	Piste de la voiture n. 1.	1544	7 602 656	$\frac{1}{17,2}$	0,0231	Ornières mouillées avec boue épaisse.
	Idem n. 2.	1540	7 582 860	$\frac{1}{17,4}$	0,0228	
	Idem n. 3.	1556	7 661 744	$\frac{1}{22,5}$	0,0171	Mouillées, très peu de boue.
Porte-corps d'artillerie n° 2.	Partie libre.	»	»	$\frac{1}{39,4}$	0,0163	Humide.
	Piste de la voiture n. 1.	1576	7 393 592	$\frac{1}{25}$	0,0265	Ornière avec boue molle.
	Idem n. 2.	1572	7 373 624	$\frac{1}{24,0}$	0,0282	Idem.
	Idem n. 3.	1590	7 360 280	$\frac{1}{29,5}$	0,0225	Frayé peu sensible, un peu de boue.
Porte-corps d'artillerie n° 2.	Partie libre.	»	»	$\frac{1}{43,9}$	0,0148	Humide.
	Piste de la voiture n. 1.	0	9 995 720	$\frac{1}{29,0}$	0,0229	Ornière avec boue très liquide et beaucoup d'eau.
	Idem n. 2.	2030	9 995 720	$\frac{1}{34,5}$	0,0203	
	Idem n. 3.	2030	9 995 720	$\frac{1}{46,8}$	0,0134	Frayé peu sensible, un peu mouillée.

37. *Conséquences de ces résultats.* — L'examen des résultats montre que, par un temps sec, les dégradations produites par la fréquentation des voitures ont un effet très peu sensible pour l'augmentation du tirage; que, quand les routes sont balayées de manière à enlever la poussière, l'intensité du tirage se maintient la même sur des parties très fréquentées que sur celles qui le sont peu, quoiqu'il y ait sur les premières un commencement notable de désagrégation.

On voit aussi que, sur des routes ainsi balayées, la constante A acquiert la valeur $A = 0,0103$, qui est à peu près un minimum pour les routes en empierrement : ce qui montre que cette opération est avantageuse pour le tirage des voitures. Lorsque les routes sont mouillées et constamment boueuses, on voit que la dégradation, et l'augmentation du tirage qui en est la conséquence, ont été plus considérables avec la voiture n° 1, à roues de $0^m,872$ de diamètre, qu'avec la voiture n° 2, à roues de $1^m,453$, et avec la voiture n° 3, à roues de $2^m,029$.

La différence entre le tirage sur les pistes des voitures n° 1 et n° 2 n'est pas très considérable, puisqu'elle ne s'élève guère qu'à $\frac{1}{8}$ environ; mais la piste de la voiture n° 1 offrait un peu plus d'ondulations.

Quant à la piste de la voiture n° 3, à roues de $2^m,029$, elle ne présentait, pour ainsi dire, aucune trace de désagrégation : un frayé à peine sensible, indiquait seulement le passage de la voiture, et l'intensité du tirage ne s'y était pas accrue, puisque sur cette route mouillée on a trouvé $A = 0,01390$.

L'examen de l'état de la route a été fait le 15 juin, avec MM. Emmery, Saint-Venant et Baude, et les résultats précédents de l'observation et de l'expérience sur le tirage ont été obtenus en leur présence.

38. *Relèvement des profils.* — On a fait ensuite le relèvement des profils transversaux des pistes. Leur examen a montré que la piste de la voiture n° 3, à roues de $2^m,029$, ne présentait, après les expériences, qu'un frayé très léger, peu différent de celui qui existait avant; qu'au contraire, les pistes des voitures n° 2 et n° 1, et surtout la dernière, offraient des ornières larges et profondes.

Ainsi, soit par l'observation directe de l'état de la route, soit par la mesure du tirage, soit par le relèvement des profils, il résulte de cette série d'expériences que les roues de $2^m,029$ n'ont produit que des dégradations insensibles sur la route, tandis que les roues de $1^m,453$ et $0^m,872$ en ont produit de beaucoup plus grandes.

Pour rendre plus tranchée la différence peu notable observée entre les pistes des voitures n° 2 et n° 1, j'aurais désiré faire continuer les passages de ces

deux voitures. Cela eût été facile pour la voiture nº 2; mais la première, à roues de 0m,872 de diamètre, avait rendu sa piste si dure et si cahoteuse que le timon battait sans cesse les jambes des conducteurs et des chevaux, et que j'ai craint les accidents qui pouvaient en résulter. J'ai donc dû me contenter des résultats déjà obtenus : ils suffisent pour faire voir qu'il y a pour la conservation des routes, comme pour la diminution du tirage, un avantage notable à employer des roues d'un grand diamètre.

On remarquera que la voiture nº 3, à roues de 2m,029, qui a produit si peu de dégradations, était chargée de 4930 kil. sur quatre roues, ou de 2465 kil. par train, ce qui montre que sur des charrettes à grandes roues, de 0m,10 à 0m,12 de largeur de bande, on peut dépasser considérablement le chargement de 2500 kil. sans crainte de fatiguer les routes.

EXPÉRIENCES

SUR LA COMPARAISON DES EFFETS DESTRUCTEURS PRODUITS SUR DES ROUTES EN EMPIERREMENT PAR DES VOITURES SUSPENDUES ALLANT AU TROT ET PAR DES VOITURES NON SUSPENDUES ALLANT AU PAS.

39. Presque tous les ingénieurs qui ont écrit sur l'action destructive que les voitures exercent sur les routes, et tous les projets de loi et de tarifs de chargements présentés aux chambres jusqu'en 1838, ont admis comme chose évidente que les voitures suspendues allant au trot causaient plus de mal aux routes que les voitures non suspendues allant au pas, et ce motif a toujours été allégué pour ne pas accorder aux diligences des poids aussi considérables qu'au roulage ordinaire.

Pour éclairer cette importante question, j'avais exécuté en 1838 des expériences spéciales et comparatives sur les effets destructeurs produits par des voitures suspendues allant au trot et des voitures non suspendues allant au pas, et leur résultat m'avait conduit à une conclusion tout opposée à l'opinion généralement admise. Depuis, en 1839, ces expériences ont été répétées dans des circonstances tout à fait comparables, et la même conséquence en est encore découlée. Pour mettre à même d'en apprécier l'exactitude, je rapporterai dans ce chapitre les expériences faites à Metz en 1838, et à Courbevoie en 1839.

40. *Expériences comparatives faites à Metz, en* 1838, *avec une diligence et un chariot d'artillerie.* — Ayant obtenu la libre disposition d'une diligence, nous avons fait marcher cette voiture concurremment avec un chariot à munitions sur l'un des accotements de la route de Metz à Thionville, entre les 5e et 6e ki-

lomètres, à partir de la première ville. Cet emplacement avait été préalablement reconnu avec MM. les ingénieurs des ponts et chaussées de la Moselle, et il avait été convenu qu'aucune réparation n'y serait faite pendant toute la durée des expériences.

Nous avions d'abord pensé devoir entreprendre ces expériences à la fois sur les deux accotements, l'un, celui de droite, étant consacré à la diligence, allant au trot, et l'autre au chariot, allant au pas. Mais après 138 passages de la diligence sur sa piste et 140 du chariot sur la sienne, nous avons reconnu que la diligence avait beaucoup moins dégradé l'accotement sur lequel elle marchait que le chariot. Toutefois, il nous parut exister dans la résistance de ces deux accotements une différence de dureté: celui de droite, fréquenté par la diligence, étant livré depuis deux ans de suite à la circulation, paraissait plus ferme que celui de gauche, parcouru par le chariot; ce qui fut attribué à ce que depuis deux ans ce dernier avait servi de dépôt à des matériaux.

En conséquence, pour éviter toute incertitude, on résolut de faire marcher les deux voitures sur le même accotement, en partageant la longueur désignée en deux parties, de 500 mètres chacune, la première, plus voisine de la ville, étant affectée au chariot à munitions, la deuxième, ou la plus éloignée, étant réservée pour la diligence allant au trot.

Voici quelles étaient les données relatives à ces deux voitures.

			m
DILIGENCE.	Diamètre des roues	de devant	0,90
		de derrière	1,374
	Diamètre moyen des boîtes		0,067
	Largeur des bandes de roue		0,069
CHARIOT à munitions.	Diamètre des roues	de devant	1,150
		de derrière	1,585
	Diamètre moyen des boîtes		0,065
	Largeur des bandes de roue		0,066

On voit, par ces données, que ces deux voitures différaient par la suspension et par le diamètre des roues, qui étaient plus grandes pour le chariot que pour la diligence. Le poids total était d'ailleurs le même, et de 3050 kilogram. pour les deux voires.

Après 84 passages de la diligence et 86 du chariot à munitions, le 11 avril, la route a été visitée. Les 500 mètres parcourus par la diligence ont paru plus

dégradés que la partie fréquentée par le chariot. Sur le côté extérieur de l'accotement, la diligence avait formé une ornière de 0^{m},15 à 0^{m},16; du côté de la chaussée, il y avait aussi quelques dégradations.

Le chariot avait aussi formé une ornière sur le côté du fossé; mais elle était moins profonde que celle de la diligence, et les dégradations du côté de la chaussée étaient à peu près nulles. Le temps avait été également mêlé de pluie et de sécheresse pour les deux voitures. Le 19 avril, après 202 passages de la diligence et 224 du chariot, on a de nouveau visité la route avec MM. Lemasson, ingénieur en chef; Lejoindre et Plassiard, ingénieurs ordinaires des ponts et chaussées. Il a été reconnu que la partie parcourue par la diligence était en général plus dégradée que celle que suivait le chariot. L'ornière de la diligence avait 0^{m},16 à 0^{m},20 de profondeur du côté du fossé, et de 0^{m},03 à 0^{m},04 du côté de la chaussée, et celles du chariot étaient moins profondes.

Des expériences ont été faites ensuite avec le dynamomètre à compteur, pour mesurer l'intensité du tirage avec le chariot à munitions, en passant successivement sur les deux parties; les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

EXPÉRIENCES *comparatives sur le tirage d'une diligence après* 202 *passages, et sur celui d'un chariot à munitions après* 224 *passages, sur un accotement de la route de Thionville.*

NUMÉROS des expériences.	DÉSIGNATION de la partie parcourue.	VITESSE.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT moyen exercé parallélem. au plan de la route.	RAPPORT de la résistance à la charge totale.	OBSERVATIONS.
		m.		k.		
1	Piste du chariot.	1,465	191	106,0	$\frac{1}{28,8}$	
2		1,470	187	103,6	$\frac{1}{29,4}$	
3		1,415	190	105,4	$\frac{1}{28,9}$	
4	Piste de la diligence.	1,365	247	137,0	$\frac{1}{22,3}$	
5		1,315	221	122,5	$\frac{1}{24,9}$	
6		1,625	230	127,4	$\frac{1}{23,9}$	

Les résultats de ces expériences sont d'accord avec l'observation des dé-

gradations de la route pour montrer que la diligence avait plus fatigué la route que le chariot, puisque la résistance était plus grande sur sa piste que sur l'autre. On doit néanmoins ajouter que, les expériences ayant été, par force majeure, faites sur les deux pistes avec le chariot, qui avait une voie moindre que la diligence, la différence indiquée est peut-être un peu trop forte.

Mais on se rappellera que, dans ces expériences, la diligence avait des roues plus petites que le chariot, et marchait au trot, tandis que ce dernier véhicule allait au pas, et il restait à déterminer par l'expérience si l'excès des dégradations causées par la diligence provenait de la rapidité du mouvement ou de la petitesse des roues. Il fallait donc répéter la même série d'expériences avec la même voiture sur deux pistes pareilles, en ne faisant varier que la suspension.

C'est ce que nous nous proposions d'entreprendre avec cette diligence, lorsque, le propriétaire l'ayant vendue, nous fûmes obligé de la rendre de suite et d'interrompre cette série d'expériences.

41. *Expériences comparatives sur les voitures suspendues et non suspendues faites avec une diligence des Messageries Générales.* — J'eus alors recours à l'obligeance de l'administration des Messageries Générales, et, par l'entremise éclairée de M. Arnous, ancien élève de l'École polytechnique, et celui des administrateurs qui est plus spécialement chargé de la direction des ateliers de construction, j'obtins la libre disposition d'une voiture de ce service pour reprendre ces expériences.

Je choisis, de concert avec MM. les ingénieurs du département de la Moselle, un emplacement convenable sur la route de Metz à Nanci, entre les villages de Jouy et de Montigny, où cette route, en très bon état, est à peu près horizontale.

L'accotement de gauche, entre le troisième et le quatrième kilomètre, me fut livré en très bon état, et j'assignai les trois cents premiers mètres au passage de la diligence non suspendue allant au pas, et les trois cents suivants pour son passage au trot et suspendue.

Pour transformer cette voiture suspendue en un chariot non suspendu, il suffisait de caler la caisse au dessus de chaque essieu et au dessus de la flèche, à l'avant et à l'arrière-train, à l'aide de coins en bois pouvant se mettre et s'enlever facilement. La voiture passait ainsi à volonté d'un état à un autre.

Le chargement fut formé avec des boulets mis dans des caisses placées dans l'intérieur, dans la rotonde et sur l'impériale, de manière à répartir la charge à peu près comme on le fait dans le service habituel. Le poids total de la voi-

ture a été de 4402 kilogrammes; ce qui, avec les observateurs qu'elle portait habituellement, l'élevait parfois à 4597 kilogrammes. La largeur des jantes étant de 0m,11, on voit que ce chargement atteignait et dépassait même le maximum fixé par le tarif contenu dans le dernièr projet de loi adopté par la chambre des pairs.

Il résulte de ce qui précède que, dans ces expériences, tout était identique pour les deux parties de la route, sauf l'allure et la suspension. Il nous reste à en faire connaître les résultats.

Après 300 passages sur chacune des deux pistes, la route a été visitée avec MM. Lemasson, ingénieur en chef, et Lejoindre, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées. Il a été reconnu que la partie fréquentée par la diligence non suspendue allant au pas était en beaucoup plus mauvais état que celle qui l'avait été par la diligence suspendue allant trot.

Dans la première partie, l'ornière du côté du fossé avait environ 0m,15 à 0m,20 de profondeur moyenne; et dans la deuxième partie, elle n'avait que 0m,10 à 0m,15.

Du côté de la chaussée entretenue, sur une partie solide, la diligence non suspendue, allant au pas, avait formé sur les 300 mètres parcourus une ornière de 0m,04 à 0m,06 de profondeur, tandis que, suspendue et allant au au trot, elle n'en avait produit qu'une de 0m,03 à 0m,05 dans quelques endroits seulement.

La piste des chevaux, ou l'intervalle des ornières, était aussi un peu plus désagrégée dans la partie parcourue au pas que dans celle qui l'était au trot.

Des expériences comparatives sur l'intensité du tirage sur les deux pistes ont aussi été faites, et les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

EXPÉRIENCES *sur lo comparaison des effets destructeurs produits sur des r*
non suspe

N°s DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière. $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	
					m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
1													1,57	»
2													1,25	»
3													1,25	»
4													1,60	Alle
5													1,79	Retou
6													1,46	Aller.
7													1,59	Retou
8													1,63	Aller.
9													1,57	Retou
10	Accotement de la route de Metz à Nanci.	Diligence des Messageries Générales.	290	4	0,912	1,400	0,110	4402	1724	2244	4	Pas	1,66	Aller.
11													1,66	Retour.
12													1,66	Aller.
13													1,61	Retour.
14													1,87	Aller.
15													1,59	Retour
16													1,51	Aller.
17													1,37	Retour
18													1,29	Aller.
19													1,18	Retour
20													1,27	Aller.
21													1,27	R

…OMBRE le tours la roulette du …mpteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
»	163,5	$\frac{1}{26,9}$	15,7	147,8	0,0191	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=7724.$	Sur l'accotement humide avant les expériences sur les effets destructeurs.
»	169,2	$\frac{1}{26,0}$	15,7	153,5	0,0199	$\rho'=\rho''=0^m,0343.$	
»	168,2	$\frac{1}{26,2}$	15,7	152,5	0,0197		
	Moyenne	$\frac{1}{26,4}$			0,0196		
4,0 2,0 } 258	64,0	$\frac{1}{12,1}$	15,7	348,3	0,0451	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	Sur la piste du pas, après 300 passages, ornières avec boue très épaisse.
9,5 5,5 } 227,5	321,0	$\frac{1}{13,7}$	15,7	305,3	0,0396	FE = 409,6N. $p'=154$ k. $p''=280$ k.	
9,0 1,0 } 225	318,0	$\frac{1}{13,8}$	15,7	302,3	0,0392		
	Moyenne	$\frac{1}{13,2}$			0,0413		
9,0 5,5 } 242,2	342,0	$\frac{1}{12,9}$	15,7	326,3	0,0422		Sur la piste du trot, après 300 passages, ornières avec boue très épaisse.
8,5 3,0 } 205,7	290,4	$\frac{1}{15,1}$	15,7	274,7	0,0356		
0,0 1,0 } 215,5	304,3	$\frac{1}{14,5}$	15,7	288,6	0,0348		
	Moyenne	$\frac{1}{14,2}$			0,0375		
0,0 8,0 } 199,0	281,0	$\frac{1}{15,7}$	15,7	265,3	0,0343		Sur la piste du pas, après 315 passages, ornières avec boue molle.
1,5 2,0 } 186,7	263,6	$\frac{1}{16,7}$	15,7	247,9	0,0321		
9,0 8,0 } 183,5	259,1	$\frac{1}{17,0}$	15,7	243,4	0,0316		
	Moyenne	$\frac{1}{16,5}$			0,0323		

Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.	
					m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
22													1,35	A
23													1,27	E
24													1,32	Al
25													1,22	Ri
26													1,29	Al
27													1,29	Re
28													1,21	Alle
29													1,21	Reto
30	Accotement de la route de Metz à Nanci.	Diligence des Messageries Générales.	290	4	0,912	1,400	0,110	4402	1724	22 4	4	Pas	1,19	Alle
31													1,27	Reto
32													1,29	Aller.
33													1,39	Retou
34													1,20	Aller
35													1,24	Reto
36													1,16	Aller
37													1,24	Retou
38													1,35	Aller.
39													1,35	Retou

…MBRE tours roulette du …ptcur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale. $\frac{F}{P}$	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A = \frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
)) } 194,0	273,9	$\frac{1}{16,1}$	15,7	258,2	0,0335	Dynamomètre à compteur de 600 kil.	Sur la piste du trot, après 315 passages ; ornières avec boue molle.
5 0 } 171,7	242,4	$\frac{1}{18,1}$	15,7	226,7	0,0294	FE = 409,6 N.	
0 0 } 183,5	259,1	$\frac{1}{17,0}$	15,7	243,4	0,0316		
	Moyenne.	$\frac{1}{17,1}$		Moyenne.	0,0315		
» »	212,0 201,0 } 206,5	$\frac{1}{21,3}$	15,7	190,8	0,0247	Dynamomètre à styles.	Sur la piste du pas, après 330 passages ; ornières avec boue liquide et eau.
» »	201,0 196,5 } 198,2	$\frac{1}{22,2}$	15,7	182,5	0,0236		
» »	186,0 209,0 } 197,5	$\frac{1}{22,3}$	15,7	181,8	0,0235		
	Moyenne.	$\frac{1}{21,9}$		Moyenne.	0,0237		
» »	212,0 198,0 } 205,0	$\frac{1}{21,4}$	15,7	189,3	0,0245		Sur la piste du trot, après 330 passages ; ornières avec boue liquide et eau.
» »	190,0 183,5 } 186,7	$\frac{1}{23,6}$	15,7	171,0	0,0222		
» »	187,0 186,0 } 186,5	$\frac{1}{23,6}$	15,7	170,8	0,0221		
	Moyenne.	$\frac{1}{22,9}$		Moyenne.	0,0229		

42. *Examen des résultats consignés dans le tableau précédent.* — La première série d'expériences consignée dans ce tableau a eu pour but de déterminer, avant toute dégradation, la valeur du coefficient A relative à l'accotement sur lequel on devait opérer.

La seconde série a été faite après 300 passages, en faisant marcher au pas sur les deux pistes la voiture suspendue. Il avait plu quelques jours avant ce moment, l'ornière du côté du fossé était remplie d'une boue épaisse, et la résistance était considérable. On remarquera que le premier passage sur chacune des deux pistes a donné une résistance sensiblement plus grande que les deux autres, ce qui tient à la présence de la boue épaisse qui fut expulsée par ce premier passage.

Cette série indique que la résistance était plus grande de $\frac{1}{10}$ environ sur la piste du pas que sur celle du trot.

La troisième série a été faite après 315 passages sur les deux pistes, lorsque la route était à peu près sèche; mais alors l'ornière du côté du fossé était encore humide et un peu boueuse, surtout dans certains endroits.

Elle indique aussi que la résistance était un peu plus grande, mais seulement de $\frac{1}{39}$, sur la piste du pas que sur celle du trot.

La quatrième série, faite après 330 passages sur la route un peu plus sèche que la veille, indique aussi que la résistance était plus grande, mais de $\frac{1}{29}$ seulement, sur la piste du pas que sur celle du trot.

Toutes ces expériences sont donc d'accord avec les résultats de l'observation de l'état de la route pour constater que la diligence suspendue a produit un peu moins de dégradations, et, par suite, un peu moins d'augmentation dans le tirage, en allant au trot, que la diligence non suspendue allant au pas.

On remarquera que la différence diminuait à mesure que la route devenait moins humide et les ornières moins boueuses; ce qui est facile à concevoir, attendu que, quand il faisait de la boue, l'ornière de la piste du pas, étant plus profonde que celle de la piste du trot, devait en contenir davantage, et, par conséquent, être plus tirante, tandis que, quand les ornières étaient sèches, le fond se trouvait au même état, et que la différence ne provenait alors, en grande partie, que de la désagrégation de la partie solide du côté de la chaussée.

43. *Conséquence de ces expériences.* — De cette discussion nous nous sommes cru autorisé à conclure en 1838 que

Les voitures suspendues allant au trot ne fatiguent pas plus les routes que les chariots ou voitures non suspendues allant au pas, quand les autres circon-

stances de charge, de dimensions des roues, etc., sont les mêmes; et que, par conséquent, sous le rapport de la conservation des routes, la loi sur la police du roulage doit permettre aux voitures suspendues des chargements aussi forts qu'aux voitures non suspendues allant au pas, sauf à se renfermer dans les limites que la sécurité des voyageurs peut exiger; et qu'enfin l'usage des voitures non suspendues allant au trot doit être interdit complétement, ou que la loi doit au moins tendre à le faire disparaître.

44. *Les dégradations des routes sont en rapport avec le rayon des roues.* — Si maintenant nous revenons à la série d'expériences faites comparativement avec la diligence de Nanci, suspendue et allant au trot, et le chariot de parc de siége d'artillerie, allant au pas, nous voyons que l'excès des dégradations causées par la diligence sur celles produites par le chariot provenait, non pas de l'allure, mais de la différence notable des diamètres des roues. D'où nous sommes de nouveau autorisé à conclure *que les petites roues occasionnent beaucoup plus de dégradations que les grandes,* ainsi que nous l'avions déjà précédemment établi par le raisonnement et l'observation directe.

Il est donc à la fois de l'intérêt de l'industrie des transports et du service public des communications d'augmenter autant que possible les diamètres des roues, et pour y parvenir, le moyen qui nous semble le plus efficace, c'est que les tarifs sur la police du roulage fixent des limites inférieures, mais assez élevées, aux rayons des roues des voitures pesamment chargées, et favorisent l'usage des grandes roues en tolérant des chargements croissant dans un certain rapport avec les diamètres. Les charrettes à deux roues ayant toujours de plus grandes roues que les chariots, leur usage doit donc être favorisé, au lieu d'être restreint. Il en est de même de celui des chariots dits comtois. Il est d'ailleurs bien entendu que la fixation des diamètres des roues devra être établie sans perdre de vue la sécurité des voyageurs, et limitée aux dimensions qui ne rendraient pas les voitures trop versantes.

45. *Remarque sur l'accord des expériences avec la pratique.* — Nous ferons remarquer que, sous plusieurs rapports, l'industrie des transports a depuis long-temps suivi les principes que nous concluons de l'expérience. En effet, nous voyons les charrettes à grandes roues continuer à être en usage malgré la fatigue que les brancards font éprouver au cheval dans les mauvais chemins, le triqueballe conservé pour le transport des lourds fardeaux; et nous observerons, à ce sujet, que des charrettes construites de manière à recevoir une partie de leur chargement au dessous de l'essieu, afin que le centre de gravité soit sur son axe ou au dessous, fatigueraient beaucoup moins le cheval de brancard, en diminuant la violence des contre-coups qu'il reçoit sur les reins.

Les chariots à un cheval, dits comtois, à quatre roues, dont celles de devant ont 1m,10 à 1m,30 de diamètre, tandis que celles des gros chariots à plusieurs chevaux n'ont que 0m,80 à 0m,90, nous offrent un autre exemple de cet avantage des grands diamètres : car ils portent en pays de plaine 1000 à 1100 kilogrammes, véhicule non compris, et quelquefois plus, par cheval, tandis que les chariots à plusieurs chevaux ne mènent dans les mêmes routes que 7 à 800 kilogrammes. C'est donc à cette différence dans les dimensions que l'on doit attribuer en grande partie la persistance des voituriers de Franche-Comté à les employer, malgré l'encombrement qu'ils occasionnent.

Enfin, les peuples du Nord ont, avec raison, conservé dans leurs voitures de voyage l'usage des grandes roues de devant.

46. *Expériences faites à Courbevoie en* 1839. — Les expériences faites à Metz en 1838, que nous venons de rapporter, avaient été exécutées de manière que deux des roues de la voiture fussent sur l'accotement en terre, et les deux autres sur la partie entretenue de la chaussée; et, les effets ayant été dans le même ordre sur ces deux pistes, la conclusion s'appliquait également aux chaussées en empierrement et aux accotements. Mais l'importance et la nouveauté des conséquences qu'on en avait déduites exigeait que les résultats en fussent vérifiés sur des chaussées en empierrement et en marchant au milieu de la route.

47. *Moyens employés.* — A cet effet, j'ai emprunté à l'administration des Messageries Générales deux de ses fourgons pour le transport des marchandises. Ces voitures sont suspendues sur quatre ressorts à chaque train, de la même manière que les diligences, et elles étaient exactement semblables sous tous les rapports. L'une d'elles étant destinée à être conduite au pas, et non suspendue, j'en fis caler les ressorts, en passant sous la caisse des pièces de bois qui reposaient sur les corps d'essieu, et d'autres entre les échantignoles des ressorts de caisse et la flèche qui lie les deux trains. Cette opération ayant été faite avant le chargement de la voiture, le jeu des ressorts a été tout à fait supprimé quand elle était chargée. Ce fourgon a été ainsi transformé en un chariot de roulage, en observant toutefois que les chariots ordinaires de roulage ont des roues de derrière plus grandes que celles des diligences, ce qui constitue un avantage notable.

48. *Emplacement.* — Pour l'exécution de ces expériences, j'ai choisi la route départementale nº 31, en face de la caserne de Courbevoie; cette route, en empierrement de gravier, est semblable aux autres routes voisines, sur lesquelles j'avais déjà opéré, mais elle est un peu moins fréquentée et offrait alors un léger frayé avec un peu de poussière.

Des pistes de 120 mètres environ furent assignées à chacune des voitures :

la plus voisine de la caserne au fourgon à ressorts calés, allant au pas; l'autre au fourgon suspendu allant au trot. Le chargement commun de ces deux voitures, fixé d'abord à 6000 kil., véhicule compris, fut réduit, après 650 passages, à 5000 kil., parce que le tirage était trop considérable.

Les deux pistes ont été arrosées pendant toute la durée des expériences, à raison de 6 ou 8 tonneaux par jour, cubant de 4^{mc},432 à 5^{mc},808. Les expériences ont commencé le 24 juillet.

49. *Examen de l'état de la route.* — La piste du fourgon suspendu offrait, à l'origine des expériences, un frayé un peu plus marqué que l'autre. Aussi, dans les premiers temps de l'expérience, les dégradations y ont paru un peu plus marquées; mais, une fois que la première couche a été attaquée, la différence a disparu.

La route a été visitée le 10 août avec MM. Emmery et Saint-Venant, après 925 passages de chaque voiture sur sa piste. L'état apparent des deux pistes a paru à peu près le même; les ornières avaient de 0^{m},08 à 0^{m},10 de profondeur au dessous du milieu de la chaussée. La piste du fourgon non suspendu offrait un peu plus de cahots et d'ondulations que l'autre.

50. *Mesure de l'intensité du tirage.* — Des expériences comparatives sur le tirage sur chacune des pistes ont été faites, d'abord après 750 passages de chaque voiture sur sa piste, puis, après 925 passages : les résultats en sont consignés dans le tableau suivant.

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k			m.
1	1			100										1,33
	2			100										1,30
	3			100										1,48
	4			100										1,3
	5			100										1,20
	6			100										1,24
2	1			115										1,06
	2			115										1,33
	3			115										1,17
	4			115										1,25
	5			115										1,17
	6			115										1,21
3	1	Route départemen. n. 31, en face de la caserne de Courbevoie, mouillée, couverte de boue, ornières.	Chariot suspendu des Messager. Générales.	100	4	0,925	1,420	0,120	5000	2267	2267	4	Pas.	1,24
	2			100										1,32
	3			100										1,28
	4			100										1,47
	5			100										1,14
	6			100										1,41
4	1			105										1,2·
	2			105										1,24
	3			105										1,27
	4			105										1,14
	5			105										1,1[illegible]
	6			105										1,15
	7			105										1,26
	8			105										1,26

...IBRE ...tours ...roulette ...lu ...pteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
} 44,1	202,6	$\frac{1}{24,6}$	17,6	183,0	0,0208	Dynamomètre à compteur de 600 kil. FE = 459,5N. $p'=191^k$. $p''=276^k$. $\rho'=\rho''=0^m,0335$. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00171$. $\frac{f\rho''}{r''}=0,00307$. $\left.\begin{array}{l}\frac{P_1'}{r'}=5313,5.\\ \frac{P_1''}{r''}=3581,6.\end{array}\right\}8895,1$ $\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=8895,1$.	Sur la piste du chariot suspendu, après 465 passages; ornières profondes, boue.
... ...) } 47,7	219,2	$\frac{1}{22,8}$	17,9	201,6	0,0227		
...) ...3 } 43,6	200,3	$\frac{1}{25,0}$	17,6	182,7	0,0205		
	Moyenne	$\frac{1}{24,1}$			0,0213		
...2 ...,0 } 50,6	202,2	$\frac{1}{24,7}$	17,6	184,6	0,0208		Sur la piste du chariot non suspendu, après 546 passages.
...,0 ...,0 } 47,5	189,8	$\frac{1}{26,4}$	17,6	172,2	0,0194		
...5 ...,0 } 46,7	186,6	$\frac{1}{26,8}$	17,6	169,0	0,0190		
	Moyenne	$\frac{1}{26,0}$			0,0197		
...,6 ...2,5 } 23,5	108,0	$\frac{1}{46,3}$	17,6	90,4	0,0102		Sur la partie libre, très sèche, ferme, en pente un peu rapide pour l'emploi du compteur.
...4,5 ...9,0 } 21,8	100,2	$\frac{1}{49,9}$	17,6	82,6	0,0093		
...4,7 ...0,5 } 22,6	103,9	$\frac{1}{48,1}$	17,6	86,3	0,0097		
	Moyenne	$\frac{1}{48,1}$			0,0097		
...11,0 ...14,8 } 57,9	253,4	$\frac{1}{19,8}$	17,6	235,8	0,0265		Piste de la voiture non suspendue, après 750 passages.
...53,0 ...46,0 } 54,5	238,5	$\frac{1}{21,0}$	17,6	220,9	0,0248		
...39,3 ...44,2 } 56,7	248,1	$\frac{1}{20,2}$	17,6	230,5	0,0260		
...72,2 ...45,6 } 58,9	257,7	$\frac{1}{19,5}$	17,6	240,1	0,0270		
	Moyenne	$\frac{1}{20,1}$			0,0261		

Nos DES SÉRIES.	Nos. DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant 2r'	DIAMÈTRE des roues de derrière 2r''	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.
5	1			121										[illegible]
	2			121										[illegible]
	3			121										[illegible]
	4			121										[illegible]
	5			121										1,08
	6			121										[illegible]
6	1			100										[illegible]
	2			100										1,33
	3			100										1,30
	4			100										1,50
	5			100										1,30
	6	Route départem. n. 31, en face de la caserne de Courbevoie, mouillée, couverte de boue, ornières.	Chariot suspendu des Messageries Générales.	100	4	0,925	1,42	0,120	5000	2267	2267	4	Pas	1,30
	7			100										1,41
	8			100										1,30
7	1			121										1,53
	2			121										1,47
	3			121										1,43
	4			121										1,35
	5			121										1,34
	6			121										1,50
	7			121										1,48
	8			121										1,35

.E 's lette ır.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
68	258,2	$\frac{1}{19,4}$	17,6	240,6	0,0271		Piste de la voiture suspendue, après 750 passages.
64,6	245,3	$\frac{1}{20,4}$	17,6	227,7	0,0256		
63,6	241,5	$\frac{1}{20,7}$	17,6	225,9	0,0252		
	Moyenne.	$\frac{1}{20,2}$			0,0260		
54,7	251,3	$\frac{1}{19,9}$	17,6	233,6	0,0263		
52,2	239,9	$\frac{1}{20,8}$	17,6	222,3	0,0250	Dynamomètre à compteur.	Sur la piste de la voiture non suspendue, après 925 passages.
54,6	250,9	$\frac{1}{19,9}$	17,6	233,3	0,0262	FE= 459,5N.	
55,7	255,9	$\frac{1}{19,5}$	17,6	238,3	0,0268		
	Moyenne.	$\frac{1}{20,1}$			0,0261		
59,6	226,3	$\frac{1}{22,1}$	17,6	208,7	0,0235		Sur la piste de la voiture suspendue, après 925 passages. Ornières avec boue.
59,4	225,6	$\frac{1}{22}$	17,6	208,0	0,0234		
57,2	217,2	$\frac{1}{23}$	17,6	199,6	0,0224		
57,2	217,2	$\frac{1}{23}$	17,6	199,6	0,0224		
	Moyenne.	$\frac{1}{22,5}$			0,0229		

51. *Résumé des résultats précédents.* — Pour discuter plus facilement les résultats contenus dans le tableau précédent, je les ai résumés ainsi qu'il suit :

VOITURE employée aux expériences.	DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge	VALEUR de la constante A	OBSERVATIONS
Chariot suspendu des Messageries Générales.	Partie libre de la route.	»	»	$\frac{1}{48,1}$	0,0097	Partie très sèche, et sans frayé.
	Piste du fourgon suspendu.	463	2 325 000	$\frac{1}{24,1}$	0,0213	
	Id. non susp.	546	2 730 000	$\frac{1}{26,0}$	0,0197	
	Id. suspendu.	750	3 750 000	$\frac{1}{20,2}$	0,0260	Cette piste était moins mouillée que l'autre.
	Id. non susp.	750	3 750 000	$\frac{1}{20,1}$	0,0261	
	Id. suspendu.	925	4 625 000	$\frac{1}{23,5}$	0,0229	
	Id. non susp.	925	4 625 000	$\frac{1}{20,1}$	0,0261	

52. *Conséquences.* On voit, par le résultat de ces expériences, que le tirage sur les deux pistes est resté à peu près le même, et que, dans la dernière série, il a été un peu moindre sur celle de la voiture suspendue ; mais la différence ne s'élève qu'à $\frac{1}{-}$ environ, et est assez faible pour qu'on ne doive pas y attacher beaucoup d'importance.

Dans cette série d'expériences, la vitesse du chariot non suspendu, allant au pas, était moyennement de 1 mèt. à $1^m,20$ environ pendant le travail ordinaire, et celle de la voiture suspendue allant au trot, de $3^m,20$ à $3^m,60$ en une seconde, ou de 2,88 à 3,24 lieues à l'heure, ce qui est une grande vitesse pour des diligences aussi chargées que ces fourgons.

On voit, par les résultats obtenus, que la voiture suspendue allant au trot n'a pas plus augmenté le tirage que la voiture non suspendue allant au pas.

53. *Relèvement des profils.* — Le relèvement des profils a été exécuté après cette série d'expériences, et l'examen de ces profils, exécutés après 925 passages, montre que les ornières avaient sur les deux pistes à peu près le même volume, et que, s'il existait quelque différence, il semblait que celles du chariot non suspendu étaient plus profondes.

54. *Conclusion.* — L'examen de l'état de la route, la mesure de l'intensité du tirage, le relèvement des profils, nous conduisent donc également à cette conséquence, que les voitures suspendues allant au trot ne dégradent pas plus les routes que les voitures non suspendues allant au pas. On remarquera qu'après 750 passages de chacune des voitures sur sa piste, la route était déjà devenue mauvaise, offrait des ornières profondes et des cahots assez durs, et comme depuis cette époque les résultats ont continué à marcher dans le même sens, et peut-être même à se prononcer en faveur de la voiture suspendue, on voit que la conclusion que nous venons de tirer s'applique aussi bien aux routes qui présentent des ornières qu'à celles qui sont en bon état.

De là résulte une confirmation complète de la conclusion que nous avions tirée des expériences de Metz, qu'en ne considérant que la conservation des routes, la loi ne doit pas imposer aux voitures suspendues allant au trot des limites de chargements plus restreintes qu'aux voitures de roulage allant au pas. Les limites ne doivent avoir pour but que la sûreté des voyageurs et être relatives à la construction et au mode de chargement des voitures.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES

SUR LES DÉGRADATIONS PRODUITES PAR LES VOITURES COMTOISES, LES CHARRETTES ET LES CHARIOTS DE ROULAGE.

55. *But et importance de ces expériences.* — Après avoir étudié séparément l'influence des largeurs de jante et des diamètres des roues sur les dégradations que les voitures produisent sur les routes, il était utile de faire des expériences directes sur les voitures en usage dans le commerce, avec des charges comprises dans les limites ordinaires.

En effet, si les expériences exécutées avec des roues de diamètres différents ont montré que celles de $2^m,029$ de diamètre et de $0^m,115$ de largeur de jante pouvaient, sans causer de dommages notables aux routes, y circuler sous des charges de 2465 kilog. par train, ou 107 kilog. par centimètre de largeur de bande, il était important de comparer à ces résultats ceux que pouvait produire une charrette ordinaire du commerce, à roues de $1^m,83$ de diamètre et de $0^m,65$ de largeur de jante, sous la charge de 5000 kilog., correspondante à 152 kilog. par centimètre de largeur de jante, et, par conséquent, inférieure au chargement toléré par le décret du 10 juin 1806, mais supérieure à celle qui avait été proposée dans le projet de loi de 1837.

D'un autre côté, les chariots de roulage à 4 roues de $0^m,165$ de largeur de bande pouvant, d'après les règlements actuels, porter 120 kilog. par centimètre de largeur de bande, il en résulte un chargement de 7920 kilog. dont il était bon de constater les effets.

Enfin la commission de la Chambre des députés ayant, en 1837, admis *qu'il est reconnu que les chariots comtois, en raison de l'étroitesse de leurs jantes, sont pour nos routes une cause très active de dégradations et de dommages*, il n'était pas moins nécessaire de s'assurer si ce que l'on posait ainsi comme une base incontestable de la discussion était exact.

56. *Moyens employés.* — Pour arriver à une comparaison directe des effets produits par ces trois genres de véhicules, j'ai pris quatre chariots du genre de ceux qu'on nomme comtois, ayant des jantes de 0m,06 seulement, mais dont les roues de devant n'avaient que 1m,11, et celles de derrière 1m,36, tandis que les véritables voitures de Franche-Comté ont le plus souvent des roues de 1m,30 sur le devant et de 1m,45 sur le derrière. Cette différence étant au désavantage des voitures mises en expériences, tant sous le rapport de l'intensité du tirage que sous celui de la dégradation des routes, les résultats, s'ils devaient être en leur faveur, ne pouvaient être que plus concluants.

Chacune de ces voitures, pesant à vide 625 kilog., a été chargée de 98 boulets de 24, pesant ensemble 1176 kilog., ce qui produisait un poids total de 1801 kilog., qui, réparti sur les quatre roues de 0m,06 de large, donnait une charge de 75 kilog. seulement par centimètre de largeur de jante.

Une charrette ayant des roues de 1m,83 de diamètre sur 0m,165 de largeur de jante, pesant à vide 1025 kilog., a été chargée de 322 boulets de 24, formant un poids de 3984 kilog., ce qui élevait le chargement total à 5009 kilog., ou à 152 kilog. par centimètre de largeur de bande.

Enfin, un chariot de roulage à roues de devant de 1m,01 de diamètre sur 0m,165 de largeur, celles de derrière ayant 1m,73 de diamètre sur 0m,165 de large, pesant vide 2175 kilog., a été chargé de 480 boulets, pesant 5760 kilog., ce qui formait un poids total de 7935 kilog., ou environ 124 kilog. par centimètre de largeur de jante.

Trois parties de 150 mètres de longueur chacune, prises sur la route départementale n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, en très bon état, n'ayant encore servi à aucune des séries d'expériences précédentes, et sur lesquelles il n'avait pas été fait d'emplois de matériaux depuis le printemps, sans ornières ni frayé apparents, et reconnues au même état autant qu'on pouvait le désirer, ont été assignées à ces voitures. La première, entre les deux chemins de fer de Saint-Germain et de Versailles, et près le viaduc du premier, a été désignée pour le chariot de roulage; la seconde, au delà et près du même viaduc, a été affectée aux voitures comtoises, et la troisième, plus voisine du village de Colombes, a été choisie pour la charrette.

Les voitures comtoises, traînées par un cheval et conduites chacune par un homme, ont toujours marché en file les unes derrière les autres, et pouvaient

tourner sur cette route, quoiqu'elle n'eût qu'environ 10 mètres de largeur.

La charrette a été attelée d'abord de trois chevaux pendant les 750 premiers passages, et en a reçu quatre lorsque le tirage est devenu plus considérable.

Le chariot de roulage n'en a jamais eu que six.

Les trois pistes ont été arrosées tous les jours où la pluie n'avait pas été abondante, et recevaient par jour environ quatre tonneaux d'eau cubant ensemble 3^{mc} environ, sur l'étendue totale des trois pistes, égale à 450 mètres. Les expériences ont commencé le 9 septembre pour les comtoises et la charrette, et le 16 pour le chariot, et elles ont continué sans interruption jusqu'au 16 octobre.

57. *Effets apparents.* — En observant la marche des dégradations, on a remarqué que les chariots comtois, tout en produisant beaucoup de boue, ne marquaient pas leurs ornières aussi promptement que les autres voitures. A mesure que le nombre des passages augmentait, l'état de la route sur la partie fréquentée par le gros chariot est devenue plus mauvais; de larges ornières fortement tranchées, des bourrelets de matériaux désagrégés rejetés à droite et à gauche, indiquaient une dégradation considérable. Sur la piste des chariots comtois, beaucoup de boue, des ornières larges, évasées vers le haut, mais peu profondes, accusaient une dégradation beaucoup moindre. Mais la piste la plus mauvaise, et surtout la plus pénible à parcourir, était celle de la charrette. Les ornières, larges et profondes, inégales, produisaient un ballottement continuel des brancards, et les roues, en se jetant ainsi à droite et à gauche, élargissaient et évasaient les ornières. De gros bourrelets de matières désagrégées étaient rejetés à droite et à gauche de la route.

58. *Résultats des expériences.* — On a continué ces passages jusqu'à ce que les trois espèces de voitures eussent transporté le même poids sur leur piste respective. A cette époque, la route a été visitée avec M. Emmery, après 970 passages de chacune des quatre comtoises sur leur piste commune, 1402 passages de la charrette sur la sienne, et 880 du gros chariot.

Il a été reconnu que la piste de la charrette était la plus dégradée, et offrait des ornières plus profondes, plus inégales et plus évasées; que celle du gros chariot offrait des ornières larges, profondes, tranchées, plus nettes, et dont le fond paraissait plus uni; qu'enfin la piste des quatre comtoises était la moins dégradée, et que ses ornières avaient peu de profondeur.

59. *Mesure de l'intensité du tirage.* — A ces résultats de l'observation directe on a joint, à diverses époques de la marche des voitures, la mesure de l'intensité du tirage : les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant.

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière. 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	
				m.		m.	m.		k.	k.	k.			m.	
1	1			150										1,40	[illegible]
	2			150										1,43	[illegible]
	3			150										1,38	[illegible]
	4			150										1,41	[illegible]
	5			150										1,27	[illegible]
	6			150										1,26	[illegible]
2	1			138										1,29	Aller
	2			138										1,34	Retour
	3			138										1,30	Aller
	4			138										1,38	Retour
	5			138										1,26	Aller
	6			138										1,38	Retour
3	1	Route de Courbevoie à Colombes.	Chariot comtois.	150	4	1,110	1,358	0,060	1871	823	795	1	Pas.	1,52	Aller
	2			150										1.29	Retour
	3			150										1,36	Aller
	4			150										1,35	Retour
	5			150										1,43	Aller
	6			150										1,40	Retour
4	1			150										1,11	Aller
	2			150										1,23	Retour
	3			150										1,14	Aller.
	4			150										1,25	Retour.
	5			150										1,11	Aller.
	6			150										1,21	Retour.
	7			150										1,06	Aller.
	8			150										1,19	Retour.

…MBRE de tours de la roulette du …mpteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A=\frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
5 / 0 } 21,2	67,0	$\frac{1}{27,9}$	4,7	62,3	0,0203	Dynamomètre à compteur de 600 kil. FE = 473,8 N. $p'_1=111^k$. $p''=142$ k. $\frac{f'}{r'}=0{,}00317$. $\rho'=0^m{,}0271$. $\frac{f\rho''}{r''}=0{,}00263$. $\rho''=0^m{,}0275$. $f=0{,}065$.	Piste des comtoises après 666 passages de chacune des quatre voitures. Ornières recouvertes d'une boue épaisse.
0 / 9 } 20,4	64,4	$\frac{1}{29,0}$	4,7	59,7	0,0195		
4 / 5 } 21,4	67,6	$\frac{1}{27,7}$	4,7	62,9	0,0203		
	Moyenne	$\frac{1}{28,2}$			0,0201		
8 / 0 } 22,9	78,6	$\frac{1}{23,8}$	4,7	73,9	0,0241	$\frac{P_1'}{r'}=1682{,}9$. $\frac{P_1'}{r''}=1380{,}0$. } 3062,9. $\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3062{,}9$.	Piste de la charrette après 660 passages. Ornières au même état.
,5 / ,5 } 21,5	73,8	$\frac{1}{25,4}$	4,7	69,1	0,0226		
,0 / ,5 } 22,2	76,2	$\frac{1}{24,6}$	4,7	71,5	0,0233		
	Moyenne	$\frac{1}{24,6}$			0,0233		
} 26	82,1	$\frac{1}{22,8}$	4,7	77,4	0,0253		Piste du chariot de roulage après 648 passages. Ornières au même état.
,9 / ,0 } 25,9	81,8	$\frac{1}{22,8}$	4,7	77,1	0,0252		
} 24,5	77,4	$\frac{1}{24,2}$	4,7	72,7	0,0237		
	Moyenne	$\frac{1}{23,3}$			0,0248		
,5 / ,0 } 24,7	78,0	$\frac{1}{24,0}$	4,7	73,3	0,0239		Piste des comtoises après 852 passages de chacune d'elles. Ornières au même état.
0 / 3 } 22,1	69,8	$\frac{1}{26,8}$	4,7	65,1	0,0213		
0 / 1 } 22,5	71,1	$\frac{1}{26,3}$	4,7	66,4	0,0217		
6 / 8 } 22,7	71,7	$\frac{1}{26,1}$	4,7	67,0	0,0219		
		$\frac{1}{25,8}$			0,0222		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant $2r'$	Diamètre des roues de derrière $2r''$	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P_1	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.	[illegible]
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.	
	1			138										1,17	Aller.
	2			138										1,20	Retour.
	3			138										1,19	Aller.
5	4			138										1,18	Retour.
	5			138										1,17	Aller.
	6			138										1,20	Retour.
	1			150										1,19	Aller.
	2			150										1,14	Aller.
	3			150										1,14	Retour
6	4	Route de Courbevoie à Colombes.	Chariot comtois.	150										1,19	Retour
	5			150	4	1,110	1,358	0,0[illegible]0	1871	823	795	1	Pas	1,14	Aller
	6			150										1,12	Retour.
	1			138										1,02	Aller.
	2			138										1,28	Retour.
	3			138										1,28	Aller.
	4			138										1,16	Retour
	5			138										1,11	Aller
7	6			138										1,12	Retour.
	7			138										1,02	Aller.
	8			138										1,05	Retour.
	9			138										1,01	Aller.
	10			138										1,01	Retour.

…BRE …urs …oulette …a …eur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.			k.			
24,1	82,7	$\frac{1}{22,6}$	4,7	78,0	0,0255	Dynamomètre à compteur. FE = 473,8N.	Piste de la charrette après 892 passages; boue liquide.
22,9	78,6	$\frac{1}{23,8}$	4,7	73,9	0,0241	$\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=3062,9$.	
22,0	75,5	$\frac{1}{24,8}$	4,7	70,8	0,0231		
	Moyenne.	$\frac{1}{23,7}$	4,7	Moyenne.	0,0242		
28,6	90,3	$\frac{1}{20,7}$	4,7	85,6	0,0280		Piste du chariot de roulage après 228 passages.
28,5	90,0	$\frac{1}{20,8}$	4,7	85,3	0,0279		
29,2	92,2	$\frac{1}{20,3}$	4,7	87,5	0,0286		
	Moyenne.	$\frac{1}{20,6}$	4,7	Moyenne.	0,0281		
36,2	124,3	$\frac{1}{15,0}$	4,7	119,6	0,0390		Piste de la charrette après 1252 passages; boue molle, liquide; ornières profondes et inégales.
35,8	122,9	$\frac{1}{15,2}$	4,7	118,2	0,0396		
33,0	113,3	$\frac{1}{16,5}$	4,7	108,6	0,0355		
31,7	108,8	$\frac{1}{17,2}$	4,7	104,1	0,0340		
32,2	110,6	$\frac{1}{16,9}$	4,7	105,9	0,0346		
	Moyenne.	$\frac{1}{16,1}$		Moyenne.	0,0365		

Nos des séries.	Nos des expériences.	Désignation et état de la route.	Voiture employée.	Distance parcourue.	Nombre de roues.	Diamètre des roues de devant 2r'	Diamètre des roues de derrière 2r''	Largeur des bandes.	Pression sur le sol P₁	Pression sur les essieux de devant P'	Pression sur les essieux de derrière P''	Nombre de chevaux.	Allure.	Vitesse.
						m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.
8	1			150										1,6[illegible]
	2			150										1,2[illegible]
	3			150										1,2[illegible]
	4			150										1,[illegible]2
	5			150										1,12
	6			150										1,15
	7			150										1,01
	8			150										1,1
	9			150										1,0[illegible]
	10			150										1,0[illegible]
9	1			150										1,01
	2	Route de Courbevoie à Colombes.	Chariot comtois.	150	4	1,110	1,358	0,060	1871	823	795	2	Pas.	0,97
	3			150										1,02
	4			150										1,25
	5			150										1,25
	6			150										1,1[illegible]
	7			150										1,10
	8			150										1,10
10	1			138										0,97
	2			138										0,95
	3			138										1,0[illegible]
	4			138										0,92
	5			138										1,17
	6			138										0,94

NOMBRE de tours de la roulette du compteur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route R	VALEUR du coefficient. $A = \frac{Rr}{P}$	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.	k.		
37 24,5 } 30,7	97,0	$\frac{1}{19,3}$	4,7	92,3	0,0302	Mêmes données.	Piste du chariot de roulage, après 882 passages; ornières profondes, au même état apparent que celles de la charrette, mais plus égales au fond.
35,4 23,0 } 29,2	92,2	$\frac{1}{20,3}$	4,7	87,5	0,0286		
35,5 24 } 29,7	93,8	$\frac{1}{19,9}$	4,7	89,1	0,0291		
34,8 22,5 } 28,6	90,3	$\frac{1}{20,7}$	4,7	85,6	0,0280		
34,7 23,0 } 28,8	91,0	$\frac{1}{19,6}$	4,7	86,3	0,0282		
	Moyenne	$\frac{1}{20,0}$		Moyenne	0,0288		
23,0 25,6 } 24,3	76,8	$\frac{1}{24,4}$	4,7	72,1	0,0235		Piste des comtoises, après 970 passages; ornières remplies d'eau.
24,0 25,4 } 24,7	78,0	$\frac{1}{24,0}$	4,7	73,3	0,0240		
24,0 24,7 } 24,3	76,8	$\frac{1}{24,4}$	4,7	72,1	0,0235		
24,0 24,0 } 24,0	75,8	$\frac{1}{24,6}$	4,7	71,1	0,0232		
	Moyenne	$\frac{1}{24,3}$		Moyenne	0,0235		
33,7 26,6 } 30,1	103,3	$\frac{1}{18,1}$	4,7	98,6	0,0322		Piste de la charrette, après 1402 passages; ornières au même état.
33,0 27,0 } 30,0	103,0	$\frac{1}{18,2}$	4,7	98,3	0,0321		
34,0 27,4 } 30,7	105,4	$\frac{1}{17,7}$	4,7	100,7	0,0339		
	Moyenne	$\frac{1}{18}$		Moyenne	0,0327		

Nos DES SÉRIES.	Nos DES EXPÉRIENCES.	DÉSIGNATION et état de la route.	VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE ROUES.	DIAMÈTRE des roues de devant $2r'$	DIAMÈTRE des roues de derrière $2r''$	LARGEUR des bandes.	PRESSION sur le sol P_1	PRESSION sur les essieux de devant P'	PRESSION sur les essieux de derrière P''	NOMBRE DE CHEVAUX.	ALLURE.	VITESSE.
				m.		m.	m.	m.	k.	k.	k.			m.
11	1	Route de Courbevoie à Colombes.	Charrette.	138	2	1,830	»	0,165	5099	4469	»	3	Pas.	0,90
	2													0,93
	3													0,87
	4													0,98
	5													0,85
	6													0,94
12	1	Même route.	Chariot de roulage.	150	4	1,011	1,730	0,165	7935	2816	4129	6	Pas.	0,94
	2													0,94
	3													0,98
	4													0,86
	5													1,00
	6													0,86
	7													0,93
	8													»

IRE urs oulette eur.	EFFORT exercé parallèlement au plan de la route.	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	DONNÉES ET FORMULES employées.	OBSERVATIONS.
	k.		k.	k.			
82,5	292,7	$\frac{1}{17,4}$	20,8	271,9	0,0488	Dynamomètre à compteur. FE = 490,8 N.	Sur sa piste, après 1402 passages. Ornières remplies de boue liquide.
83,2	295,9	$\frac{1}{17,2}$	20,8	275,1	0,0494	$\frac{f\rho}{r}=0,00466$. $\rho=0^{m},0427$. $f=0,10$.	
80,0	284,5	$\frac{1}{17,9}$	20,8	274,7	0,0493	$\frac{P_1}{r'}=5572,7$. $p'=315$ k. par roue.	
	Moyenne	$\frac{1}{17,5}$			0,0492		
142,0	272,2	$\frac{1}{29,1}$	27,8	244,4	0,0207	Dynamomètre à compteur. FE = 287,5 N.	Sur sa piste, après 892 passages. Boue molle, ornières profondes.
139,2	266,8	$\frac{1}{29,7}$	27,8	239,0	0,0202	$p'=$[illegible]96k. $p''=594$k. $\frac{f\rho'}{r'}=0,00527$. $\rho'=0^{m},0410$.	
134,7	238,2	$\frac{1}{30,7}$	27,8	230,4	0,0195	$\frac{f\rho''}{r''}=0,00315$. $\rho''=0^{m},042$. $f=0,065$.	
136,0	260,7	$\frac{1}{30,4}$	27,8	232,9	0,0197	$\frac{P_1'}{r'}=6354$.	
	Moyenne	$\frac{1}{30,0}$			0,0200	$\frac{P_1''}{r''}=5460$. $\frac{P_1'}{r'}+\frac{P_1''}{r''}=11814$.	

60. ***Résumé des résultats précédents.*** — Pour discuter plus facilement les résultats contenus dans le tableau précédent, on les a résumés ainsi qu'il suit :

VOITURE employée aux expériences.	DÉSIGNATION de la piste.	NOMBRE de passages.	POIDS total transporté.	RAPPORT du tirage à la charge	VALEUR de la constante A.	OBSERVATIONS
Chariot comtois.	Piste des Comtoises.	666	k. 4 800 000	$\frac{1}{28,2}$	0,0201	
	Piste de la charrette.	660	3 300 000	$\frac{1}{24,6}$	0,0233	
	Piste du gros chariot.	648	5 140 000	$\frac{1}{23,3}$	0,0248	
	Piste des Comtoises.	832	6 140 000	$\frac{1}{25,8}$	0,0222	
	Piste de la charrette.	892	4 470 000	$\frac{1}{23,7}$	0,0242	
	Piste du gros chariot.	828	6 570 000	$\frac{1}{20,6}$	0,0281	
	Piste de la charrette.	1252	6 270 000	$\frac{1}{16,1}$	0,0365	La boue était plus épaisse, et les ornières un peu moins mouillées
	Piste des Comtoises.	970	6 990 000	$\frac{1}{24,3}$	0,0235	
	Piste de la charrette.	1402	7 020 000	$\frac{1}{18,0}$	0,0327	
	Piste du gros chariot.	882	7 000 000	$\frac{1}{20,0}$	0,0288	
Charrette.	Piste de la charrette.	1402	7 020 000	$\frac{1}{17,3}$	0,0492	
Gros chariot.	Piste du gros chariot.	882	7 000 000	$\frac{1}{30,0}$	0,0200	

61. ***Conséquence de ces résultats. Le tirage augmente avec le nombre des passages et avec les dégradations.*** — On se rappelle d'ailleurs que, sur cette route, on a pour le coefficient A les valeurs suivantes :

Route très sèche, A = 0,0100 à 0,0110
Route un peu humide, sans boue, A = 0,0140 à 0,0150
Route mouillée, avec un peu de boue liquide, A = 0,0160 à 0,0180

L'examen de ce tableau nous montre que le tirage a augmenté graduellement sur chacune des pistes avec le nombre des passages, mais que l'augmentation a été beaucoup moins rapide pour les voitures comtoises que pour les autres : car cette quantité, ayant d'abord pour la route mouillée et couverte de boue une valeur de 0,0180, a pris successivement les valeurs

A = 0,0201	0,0222	0,0235	
après 666	852	970	passages,

C'est-à-dire qu'elle n'a guère augmenté que du tiers de sa valeur primitive ;

Tandis que, pour la charrette, on a eu

A = 0,0233	0,0242	0,0327	
après 660	892	1402	passages ;

Ce qui indique une valeur à peu près double de celle qu'eût donnée la route en bon état, mouillée et couverte d'une boue liquide.

Enfin, le gros chariot de roulage a donné les valeurs :

A = 0,0248	0,0281	0,0288	
après 648	828	882	passages.

62. *La mesure du tirage est une indication relative, exacte, de la marche des dégradations éprouvées par les routes en empierrement.* — On voit que la mesure directe du tirage éprouvé par la même voiture est d'accord avec l'observation de l'état de la route pour indiquer la marche des dégradations, et que ces deux modes d'appréciation conduisent à des conclusions semblables.

Il est vrai que l'accroissement du tirage n'est pas proportionnel au nombre des passages ; mais, en employant ce moyen de comparaison, on ne pouvait pas s'attendre à une proportionnalité exacte, et il suffit, pour que son emploi soit à l'abri de toute contestation, que les indications soient d'accord avec les autres observations. C'est ce qui est rendu manifeste dans toutes les séries d'expériences exécutées à des époques où l'état de l'atmosphère permettait de maintenir, par l'arrosage, la route à un état d'humidité à peu près uniforme. Il suffit d'ailleurs, par l'observation faite à un jour donné de deux portions de route, d'indiquer l'intensité relative du tirage pour chacune d'elles, pour que l'on puisse en conclure un moyen de comparaison des effets de destruction qui y ont été produits : car, en définitive, c'est l'augmentation du tirage qui

est l'effet le plus fâcheux que l'industrie des transports éprouve de la dégradation des routes.

63. *Comparaison des dégradations produites par les différentes voitures employées.* — Si nous revenons au résultat final de la série d'expériences qui nous occupe, on voit qu'après le transport d'un même poids de 7 000 000 kil. environ, le tirage d'une même voiture comtoise sur les trois pistes était, sur la piste

des comtoises $\frac{1}{24,3}$ de la charge et $A=0,0235$

du gros chariot $\frac{1}{20}$ id. $A=0,0288$

de la charrette $\frac{1}{18}$ id. $A=0,0327$

Ce qui montre que, malgré leur marche en file et la faible largeur de leurs bandes de roue, les voitures comtoises, par suite de la division du chargement, produisent moins de dégradations sur les routes en empierrement que les chariots de roulage, et que ceux-ci, par le même effet de la répartition de la charge de près de 8000 kil. sur deux trains, et malgré le désavantage de leurs petites roues de devant, font moins de dégradations que les charrettes chargées de 5000 kil. et de largeur égale de jantes.

Les expériences faites avec la charrette sur sa piste et avec le gros chariot sur la sienne, après un transport de 7 000 000 kil., montre que le tirage sur cette piste était à proportion un peu plus fort pour la charrette que pour le chariot comtois, puisqu'on a pour la charrette $A=0,0492$, et pour le chariot 0,0327, tandis qu'au contraire le tirage du chariot sur sa piste était beaucoup moins fort que celui de la voiture comtoise sur la même piste. Cela tient d'une part à ce que les ballottements de la charrette occasionnaient une perte notable de force vive et de travail, tandis que les effets dus aux inégalités de l'ornière ne se produisaient pas, à beaucoup près, aussi violemment sur le chariot comtois, dont l'avant-train seul ballottait un peu.

D'une autre part, on ne doit pas être étonné que sur un sol désagrégé et mou comme celui des ornières qu'il avait formées, le gros chariot, à jantes de $0^m,165$, n'ait eu un tirage plus facile que le chariot comtois à jantes de $0^m,060$, puisque l'on sait par les expériences de 1838 que, sur les terrains mous, le tirage diminue quand la largeur de bande augmente.

64. ***Les voitures à bandes étroites n'ont pas tout l'avantage qu'on leur attribue sur les routes à ornières.*** — Ce résultat, entièrement conforme à ceux que j'avais obtenus en 1838 par une étude directe de l'influence de la largeur des jantes, montre qu'il n'est pas toujours vrai, comme on le croit généralement,

qu'une voiture à jantes étroites, marchant dans une ornière profonde formée par une voiture à jantes larges, y éprouve beaucoup moins de résistance que celle-ci. Ce que la voiture à jantes étroites peut gagner par la diminution du frottement latéral contre les bords de l'ornière est souvent plus que compensé par sa pénétration dans les matières molles et désagrégées du fond.

65. *Inconvénients de la diversité des largeurs de jante.* — A l'inverse, au contraire, une voiture à jantes larges, passant sur des ornières étroites, éprouve une grande augmentation de tirage, parce que ses bandes reposent sur les côtés de l'ornière et roulent alors en partie sur les matières molles réunies en bourrelets à son sommet, ce qui est un grand désavantage pour ces voitures. On voit par là que la grande variété qui existe dans les dimensions des jantes est un inconvénient grave pour le roulage, et l'on s'explique comment les rouliers peuvent avec raison dire que les roues larges donnent à poids égal un tirage plus fort que les roues étroites. Ils généralisent ce qui n'est vrai que dans le cas particulier où ils passent sur des ornières formées par des roues étroites, parce qu'ils éprouvent alors une grande gêne.

Au surplus, les expériences sur l'influence de la largeur des jantes sur les dégradations ayant montré (n° 14 et suivants, 2e partie) qu'au delà de $0^m,115$ environ il y a peu d'avantage pour la conservation des routes à augmenter la largeur des jantes, on épargnerait au roulage les difficultés que nous venons de signaler en limitant ces largeurs à des dimensions voisines de ce terme.

66. *Expériences sur la différence de tirage qu'on prétend exister entre les roues de devant et celles de derrière.* — Les expériences dont on vient de discuter les résultats m'ont aussi fourni une occasion favorable de vérifier s'il était vrai, comme quelques ingénieurs l'ont admis, que la résistance éprouvée par les roues de derrière était, à proportion, moindre que celle des roues de devant. Les longues séries d'expériences dont les résultats ont été rapportés dans ce Mémoire montrent que cette opinion n'est pas aussi fondée en réalité qu'elle le paraît logiquement, puisqu'il faut presque toujours plusieurs centaines de passages pour produire dans l'intensité du tirage des différences notables, d'où il suit que celle qui peut avoir lieu entre les deux trains est insensible. Je l'ai déjà dit au n° 27 de la 1re partie, en expliquant la préférence que j'avais cru devoir accorder aux voitures à quatre roues pour les expériences sur l'influence du diamètre sur l'intensité du tirage; mais des expériences spéciales, faites sur une route couverte de boue, offrant des ornières notables, et par conséquent dans les circonstances les plus propres à manifester la différence que l'on croyait devoir exister dans la résistance que les deux trains éprouvent sur les routes ordinaires, m'ont paru propres à trancher la question.

En conséquence, le 10 octobre, après que les quatre voitures comtoises

employées aux expériences précédentes eurent exécuté 970 passages sur leur piste, et y eurent produit des dégradations notables et surtout beaucoup de boue, on a fait des expériences sur l'intensité du tirage éprouvé par une même voiture comtoise passant successivement devant ou derrière les trois autres, en ayant soin de faire alterner les expériences, de telle façon qu'après une expérience où la voiture dont on mesurait le tirage était en tête, on en faisait immédiatement une autre où elle était à la queue du convoi. On a ainsi atténué l'influence que les dégradations éprouvées par la route et la différence d'humidité pendant une même séance pouvaient exercer sur les résultats. Ainsi, quoique dans le tableau suivant les résultats soient classés d'après l'ordre de la voiture dans le convoi, on ne doit pas oublier que les expériences alternaient entre elles comme je viens de le dire.

EXPÉRIENCES ***sur la différence du tirage éprouvé par la première et la dernière voiture d'un convoi de quatre comtoises allant sur une route en empierrement en mauvais état.***

VOITURE employée.	DISTANCE PARCOURUE.	VITESSE.	SENS du mouvem.	NOMBRE de tours de la roulette du compteur.		EFFORT exercé par le moteur parallèlem^t au plan de la route	RAPPORT du tirage à la charge totale.	EFFORT employé à vaincre le frottement des essieux	RÉSISTANCE au roulement sur la route. R	VALEUR du coefficient $A=\frac{Rr}{P}$.	OBSERVATIONS.
	m.	m.				k.		k.	k.		
Chariot comtois.	150	1,20	Aller.	26,5	26,2	82,8	$\frac{1}{21,6}$	4,7	78,1	0,0255	Sur sa piste, allant derrière les trois autres.
		1,21	Retour.	26,0							
		1,23	Aller.	25,0	24,9	78,7	$\frac{1}{23,8}$	4,7	74,0	0,0242	
		1,20	Retour.	24,8							
		1,25	Aller.	25,5	25,4	80,2	$\frac{1}{23,4}$	4,7	75,5	0,0247	
		1,29	Retour.	25,4							
						Moyenne	$\frac{1}{22,9}$		Moyenne	0,0248	FE=473,8N. $\frac{P'}{r'}+\frac{P''}{r''}=3062,9.$
		1,07	Aller.	24,5	25,0	79,0	$\frac{1}{23,7}$	4,7	74,3	0,0243	Sur sa piste, allant devant les trois autres.
		1,08	Retour.	25,6							
		1,04	Aller.	24,5	24,3	76,8	$\frac{1}{24,4}$	4,7	72,1	0,0235	
		0,95	Retour.	24,2							
		0,94	Aller.	23,3	23,7	74,9	$\frac{1}{25,0}$	4,7	70,2	0,0229	
		0,99	Retour.	24,2							
						Moyenne	$\frac{1}{24,4}$		Moyenne	0,0236	

Nota. Les données et formules dans ce tableau sont les mêmes que celles qui ont été rapportées au n° 89 (tableau) pour la même voiture comtoise.

67. *Conséquence.* — L'examen des résultats consignés dans le tableau précédent nous montre que, quand la voiture marchait en tête du convoi, le tirage qu'elle éprouvait était $\frac{1}{24,4}$ de son poids et la constante A = 0,0236, et que, quand elle marchait en arrière, le tirage était $\frac{1}{22,9}$ du poids et A = 0,0248.

La différence qui existe entre ces deux résultats est trop faible pour y attacher quelque importance, et elle indiquerait d'ailleurs que le tirage est plus grand pour la voiture de derrière que pour celle de devant. On voit donc que ces expériences, faites sur une route très fatiguée et dans les circonstances les plus favorables pour manifester une différence de tirage entre les roues de devant du convoi et celles de derrière, montrent qu'il n'en existe pas sensiblement, quoiqu'il y ait eu entre les deux positions de la voiture dans le convoi l'interposition des douze roues de trois autres voitures, ce qui devait manifester l'influence de ce qu'on nomme le frayé, si elle existait en effet d'une manière assez sensible pour qu'il fallût en tenir compte.

Il suit de là que, sur les routes en empierrement ordinaire, même quand elles sont couvertes de boue, il n'y a aucune différence appréciable entre la résistance éprouvée par le train de derrière et celle du train de devant, quand les diamètres des roues sont égaux et lorsque la charge est la même, et que par conséquent l'emploi des voitures à quatre roues pour l'étude de l'influence des diamètres des roues sur l'intensité du tirage est à l'abri de l'objection qui lui avait été faite.

68. *Relèvement des profils.* — Outre l'examen de l'état de la route et la mesure de l'intensité du tirage, on a exécuté des profils transversaux de chacune des pistes en plusieurs endroits de leur longueur, leur examen montre d'une manière évidente que la piste des voitures comtoises était beaucoup moins dégradée que les deux autres, et que celle de la charrette l'était beaucoup plus que celle du gros chariot.

69. *Matériaux employés à la réparation.* — Enfin, la réparation de la route ayant été faite immédiatement après, les expériences et les dégradations étant assez considérables pour que l'on pût tenir compte des quantités de matériaux employées, je les ai fait observer avec soin, et je rapporte ici les résultats obtenus.

Quantités de matériaux employés à la réparation des dégradations produites sur la route départementale n° 132 dans la série d'expériences précédentes.

DÉSIGNATION des pistes.	NOMBRE de passages.	POIDS transporté.	VOLUME de matériaux employés.
			m c
Piste des voitures comtoises.	970	6 990 000	5,000
— du chariot ordinaire de roulage.	882	7 000 000	10,100
— de la charrette.	1402	7 002 000	13,400

70. *Accord de toutes les observations.* — Les résultats consignés dans le tableau précédent sont donc d'accord avec toutes les autres observations pour indiquer l'ordre des dégradations.

Ainsi, l'observation directe de l'état de la route, la mesure de l'intensité du tirage, le relèvement des profils et la quantité de matériaux employés aux réparations, prouvent

1° Que quatre voitures comtoises à roues de 0m,060 de largeur de bande sur 1m,11 de diamètre à l'avant-train, et 1m,36 à l'arrière-train, marchant en convoi l'une derrière l'autre, et chargées chacune de 1801 kil., après avoir transporté 7 000 000 kil. sur une piste toujours mouillée, avaient produit moins de dégradations que le chariot de roulage et la charrette;

2° Que le gros chariot à roues de 0m,165 de largeur sur 1m,01 de diamètre à l'avant-train, et 1m,73 à l'arrière-train, chargé de 7935 kil., après avoir transporté 7 000 000 kil. sur une piste toujours mouillée, avait produit moins de dégradations que la charrette à roues de 0m,165 de diamètre, chargée de 5009 kil. après le transport d'un même poids de 7 000 000 kil. sur une route au même état.

71. *Avantage de la division des poids.* — Il suit de là que la division des poids sur des voitures à jantes étroites est favorable aux routes, et que le transport des gros fardeaux doit être effectué sur des voitures à quatre roues de préférence aux voitures à deux roues.

Nous ferons remarquer que les résultats de ces expériences, quoique défavorables aux charrettes, n'impliquent pas contradiction à celles qui ont été rapportées aux n° 32 et suivants, sur l'influence du diamètre des roues sur les dégradations, à chargements égaux, parce que le poids 5009 kil. porté sur les

deux roues de la charrette excédait celui qui était supporté par les deux trains du gros chariot, et surtout sur celui du train de devant, qui avait les plus petites roues, la charge étant en effet répartie proportionnellement aux diamètres, et de 3212 kil. sur le train du devant, et de 4723 kil. sur celui de derrière.

RÉSULTATS D'OBSERVATION SUR LES TRANSPORTS EXÉCUTÉS PAR DIVERS VÉHICULES.

72. Avant de déduire des expériences rapportées plus haut les conséquences qui me semblent en découler, et qui pourraient servir de bases à la législation du roulage sous le rapport mécanique, je crois devoir y joindre quelques faits relatifs aux chargements transportés par l'industrie, quand les règlements, ou la facilité de les éluder, lui donnent assez de latitude pour qu'elle charge ses voitures à peu près comme il lui convient.

J'ai demandé à ce sujet des renseignements à des ingénieurs des ponts et chaussées, à des entrepreneurs de roulage, à des constructeurs de voitures. Parmi les documents que j'ai pu ainsi réunir il en est qui, bien que fort exacts, n'ont pu remplir mon but. Ce sont ceux qui ont été relevés près des ponts à bascule établis aux bureaux des douanes, où l'on est sévère, parce qu'alors les voituriers, forcés de limiter leurs chargements, déchargent souvent en partie leurs voitures avant d'arriver au bureau de pesage, pour les recharger plus loin.

Tous les résultats que j'ai pu réunir ici étant d'ailleurs obtenus sous l'empire des règlements actuels, et contenus par conséquent dans certaines bornes par la crainte que peut avoir le voiturier d'être pris en contravention, il en résulte qu'ils doivent être regardés comme des limites inférieures, et qu'il y a tout lieu de croire que, si l'on supprimait le système du pesage, les chargements réels seraient encore plus forts.

73. 'a séparé en divers tableaux les résultats relatifs aux différentes espèces de voitures et de routes, pour rendre la comparaison plus facile.

ÉTAT ET NATURE de la route parcourue.	LARGEUR des bandes de roue.	DIAMÈTRE DES ROUES de devant.	DIAMÈTRE DES ROUES de derrière	POIDS total transporté.
	m.	m.	m.	k.
Route en empierrement de gravier, en mauvais état, avec boue, dans le département du Haut-Rhin (février 1839).	0,11	1,30	1,80	2310
	0,11	1,00	1,32	3120
	0,11	0,95	1,17	2636
	0,11	1,00	1,30	2[illegible]40
	0,09	1,00	1,17	2370
	0,12	1,05	1,35	2750
	0,11	1,07	1,40	3100
	0,11	1,07	1,37	3690
	0,11	1,03	1,35	3840
	0,11	1,06	1,37	3780
	0,12	1,00	1,35	4060
	0,12	1,00	1,30	4260
	0,12	1,00	1,15	3670
	0,11	0,80	1,32	3990
	0,12	1,05	1,50	4700
	0,13	1,00	1,40	5400
	0,13	1,04	1,54	4500
	0,11	0,98	1,43	4060
	0,14	1,08	1,40	5320
	0,14	0,93	1,45	52[illegible]0
	0,11	0,95	1,50	4300
	0,14	0,98	1,50	5780
	0,17	1,08	1,66	6800
	0,21	1,03	1,70	7140
	0,14	0,97	1,63	5730
	0,14	1,02	1,67	5810
Route du département du Nord, en empierrement, en bon état, un peu de boue.	0,17	1,00	1,45	6200

ITÉ ux.		CHARGEMt par cheval.	DISTANCE parcourue.	DURÉE du travail journalier.	VITESS en une heure en kilomètres.	OBSERVATIONS.
		k.	k.	h.	k.	
s.		1155	30	8	3,75	
		1560	18	6	3,00	
		1313	18	6	3,00	
cres		1405	18	6	3,00	
		1185	20	5	4,00	
		1375	25	6	4,16	
s.		1550	30	9	3,33	
	Moyenne.	1220				
s.		1207	33	8	4,12	
		1246	33	8	4,12	
		1260	33	8	4,12	
		1353	18	6	3,00	
		1420	18	6	3,00	
s.		1223	40	10	4,00	
		1330	25	6	4,15	
	Moyenne.	1330				
cres		1175	30	6	5,00	
s.		1350	45	9	5,00	
		1125	30	8	3,75	
is.		1015	30	8	3,75	
s.		1330	28	7	4,00	
		1315	25	6	4,12	
		1075	25	6	4,12	
		1445	30	8	3,75	
	Moyenne.	1227				
s.		1360	30	8	3,75	
		1228	30	9	3,33	
		1150	30	8	3,75	
}		1162	30	8	3,75	
	Moyenne.	1225				
s.		1700	33	8	4,10	Observation recueillie par la douane de Blanc-Misseron.

ÉTAT ET NATURE de la route parcourue.	LARGEUR des bandes de roue.	DIAMÈTRE DES ROUES		POIDS total transporté.	NOMBRE de chevaux.	LIE… à nais…
		de devant.	de derrière			
	m.	m.	m.			
Route pavée, en bon état, du département du Nord.	0,09	1,00	1,30	4400	5	Perche…
	0,14	1,00	1,64	5800	3	Flam…
	0,17	1,00	1,50	3500	4	Idem
	0,17	1,00	1,60	8500	5	Idem.
	0,17	1,00	1,60	7700	5	Idem
	0,11	0,80	1,41	3800	2	Idem.
	0,14	0,80	1,41	5100	3	Idem
	0,17	»	1,80	4800	2	Allem…
	0,17	»	1,80	6800	3	Idem.
Route pavée de Paris à Orléans.	0,07	»	1,90	2875	1	»
Route pavée de Flandre.	0,06	1,11	1,36	1950	1	»

ITÉ ; ux.	TAILLE.	CHARGEMt par cheval.	DISTANCE parcourue.	DURÉE du travail journalier.	VITESS en une heure en kilomètres.	OBSERVATIONS.
	m.	k.	k.	h.	k.	
ıne	1,50	880	30,00	6	5,00	Service de roulage accéléré. — Les deux chevaux de timon sont de la force de ceux des diligences ; les trois de devant sont petits.
rce	1,55	1933	27,00	7	3,85	
ıne	1,50	2150	31,00	7	4,42	Résultats recueillis par la douane de Blanc-Misseron.
n.	1,58	1700	36,00	14	2,57	
n.	1,58	1340	31,00	10	3,10	
n.	1,55	1900	40,00	12	3,33	Service de déménagements de la poste aux chevaux de Paris. On y emploie des chevaux de poste fatigués.
n.	1,55	1700	40,00	12	3,33	
						Résultats recueillis par la douane de Blanc-Misseron.
ce	1,68	2400	34,00	12	2,83	
n.	1,65	2267	34,00	12	2,83	
rce	1,60	2875	32 à 36	10	3,2 à 3,6	
ıne	1,50	1950	32 à 36	10	3,2 à 3,6	

74. *Conséquence des tableaux précédents.*—L'examen de ces tableaux montre que, même sous l'empire de la loi actuelle, et quand les voituriers sont loin des ponts à bascule, ils chargent les poids suivants :

1° Sur des routes en empierrement en état médiocre pendant la saison des pluies :

Sur des voitures comtoises à un cheval,	1600 k. à 1800 k.
Sur des chariots à plusieurs chevaux, depuis 2 jusqu'à 5, avec des chevaux de force et de taille moyenne, par cheval.	1200 k. à 1800 k.
2° Sur le pavé :	
Sur les voitures comtoises à un cheval,	1900 k. à 2000 k.
Sur les chariots à plusieurs chevaux, par cheval, avec des chevaux de force moyenne.	1500 k. à 1300 k.
3° Sur des routes en empierrement en état ordinaire :	
Sur des charrettes à un cheval,	1800 k. à 2400 k.
Sur des charrettes à plusieurs chevaux,	1600 k. à 2000 k.
4° Sur le pavé :	
Sur des charrettes à un cheval,	2400 k. à 2800 k.
Sur des charrettes à plusieurs chevaux, par cheval,	2000 k. à 2300 k.

On remarquera que la plupart des résultats ci-dessus sont déduits d'observations faites pendant la mauvaise saison.

D'après cela, si on laissait toute latitude aux voituriers, on voit que les chargements en pays de plaine atteindraient habituellement les limites suivantes :

		En hiver.	En été.
Chariot comtois	à 1 cheval	1800	2000
Chariot à 4 roues	à 2 chevaux	2400	2800
Id.	à 4 chevaux	4800	5200
Id.	à 6 chevaux	7200	9100
Charrette	à 1 cheval	1800	2500
Id.	à 2 chevaux	3500	4000
Id.	à 3 chevaux	4500	5000

Ces chargements me paraissent suffire à tous les besoins de l'industrie, et n'excéderaient pas ce que l'on peut faire supporter aux routes, à l'exception de ceux du chariot à 6 chevaux et de la charrette à 3 chevaux, qui, à certaines époques surtout, seraient trop considérables. Il faut d'ailleurs s'attendre que les limites supérieures seraient habituellement atteintes, et parfois franchies toutes les fois que la saison et l'état de la route le permettraient, ce qui tour-

nerait à l'avantage des forts chevaux, et à l'amélioration de la race. On voit par cette comparaison que, même en limitant à 6 le nombre des chevaux de chariots, et celui des charrettes à 3 ou 4, les poids des chargements dépasserait souvent les limites qu'il convient de fixer dans l'intérêt de la conservation des routes.

EXPÉRIENCES

SUR LA QUANTITÉ DE TRAVAIL CONSOMMÉE POUR LE TRANSPORT D'UN POIDS DONNÉ DANS DES VOYAGES DE PARIS A AMIENS, A NANCI ET AU MANS, ENTREPRISES POUR COMPARER CES DIFFÉRENTES ROUTES ENTRE ELLES SOUS LE RAPPORT DU TIRAGE.

75. *But des expériences.* — L'ensemble des résultats des expériences rapportées dans la première partie établit d'une manière incontestable les avantages des routes pavées en bon état sur les routes en empierrement, sous le rapport de la facilité du tirage pour les voitures ordinaires du roulage. Il découle aussi des expériences sur les effets destructeurs produits par les voitures sur les routes en empierrement que l'état d'entretien exerce une influence énorme sur la résistance éprouvée par les voitures. Mais il serait fort à désirer que des expériences nombreuses exécutées sur de longues distances, à différentes époques de l'année, fussent ordonnées par l'administration, pour la mettre à même de comparer d'une manière positive les diverses routes entre elles, sous le rapport de l'influence de la nature des matériaux employés, de l'effet des méthodes d'entretien plus ou moins perfectionnées et convenables à chaque localité, afin de mettre en évidence les avantages ou les défauts de chacune d'elles.

Pour donner une idée plus nette, appuyée sur des exemples, des avantages que présenterait ce mode d'estimation de l'état des routes, je montrerai, par les résultats de quelques expériences de ce genre, les différences considérables que présentaient quelques unes de nos principales routes, en 1841, à la fin de la belle saison.

76. *Moyens employés.* — Un fourgon de roulage à quatre roues, de $0^m,891$ de diamètre à l'avant-train et de $1^m,40$ au train de derrière, et $0^m,10$ de largeur de jantes, chargé d'un poids de 5300 à 5400 kilogrammes, a été successivement conduit de Paris à Amiens et retour, de Paris à Nanci et retour, de Paris au Mans et retour. Il marchait par journées d'étapes, et l'on obtenait, à l'aide du dynamomètre à compteur, à la fin de chaque journée, pour une distance totale connue, la quantité de travail développée par les chevaux. L'instrument permettant en outre de fractionner les observations, on a déterminé avec soin dans un grand nombre de cas, et en particulier quand la route était

à peu près de niveau, les quantités de travail correspondantes à des distances partielles. Les observations ayant été faites à l'aller et au retour sur les mêmes lieux, on a pu compenser les effets des pentes, en prenant la moyenne arithmétique des deux résultats, et l'on a ainsi obtenu le travail moyen, soit journalier, soit par tonne et par kilomètre, pour chaque route ou portion de route.

Dans les cas assez rares où les pentes étaient très roides, il arrivait que dans les descentes l'instrument n'indiquait aucun travail moteur, quoique les chevaux de timon fussent obligés de retenir. Il eût été facile néanmoins de mesurer l'effort ou le travail développé dans ces circonstances (1); mais elles sont accidentelles, et les observations partielles ont d'ailleurs toujours été faites, comme je l'ai dit, en terrain à peu près de niveau.

Le choix des trois directions suivies par ce chariot a été déterminé par les motifs suivants : La route d'Amiens est pavée de Paris à Clermont, de là jusqu'à Flers elle est en empierrement assez mauvais, et de Flers à Amiens en empierrement en bon état : elle offrait donc trois natures de routes différentes. La route de Nanci par Sezanne, Saint-Dizier et Ligny, présente aussi une grande variété, et traverse une partie du département de la Marne, où elle est entretenue avec de petits cailloux calcaires plats et tendres. Enfin, la route du Mans offre une partie pavée, et se termine dans le département de la Sarthe, dont l'habile ingénieur en chef, par des soins incessants et l'emploi des méthodes d'entretien les plus perfectionnées, est parvenu à amener les routes à un état que l'on regarde généralement comme aussi voisin de la perfection qu'on peut le désirer.

Les expériences ont eu lieu depuis la fin du mois d'août jusqu'au milieu d'octobre, c'est-à-dire à une époque de l'année où la sécheresse de l'été a ordinairement amené les routes à l'état le plus parfait. Si, malgré cette circonstance, elles ont montré des différences considérables quant à l'intensité du tirage, que serait-ce si on les répétait à la fin de l'hiver, alors que les pluies, les fontes de neige, les dégels, ont désagrégé les routes et triomphé plus ou moins des efforts exercés pour les entretenir. Je ne mets pas en doute que les résultats que l'on obtiendrait alors, en révélant l'intensité du dommage causé à l'industrie des transports par la dégradation des routes, ne rendissent évidente et irrésistible la nécessité d'allouer, d'une part, des fonds plus considérables à l'entretien de certaines routes, et, de l'autre, de faire observer avec rigueur les méthodes d'entretien reconnues les plus propres à les maintenir en bon état.

(1) Voyez la notice sur les appareils dynamométriques, n° 45, p. 74.

Tous les résultats des expériences sont consignés dans les deux tableaux suivants, pour chaque voyage d'aller et de retour. Le premier donne le travail journalier total développé par les chevaux, et la distance parcourue, d'où l'on a déduit la quantité de travail dépensée pour le transport d'une tonne ou de 1000 kilogrammes à 1 kilomètre, et ensuite le travail moyen relatif à une route de niveau pour le même transport. Ces quantités de travail sont exprimées en kilogrammes élevés à 1 mètre de hauteur, ce qu'indique l'indice km. placé en haut et à droite des nombres qui les représentent.

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	SENS de la marche.	DISTANCE parcourue pendant l'expérience.	TRAVAIL total.	TRAVAIL pour transporter 1000 kilogr. à 1 kilomètre.		RAPPORT du tirage moyen à la charge.
Voyage de Paris à Amiens, et retour.						
		m.	km.	km.		
De Saint-Denis à Luzarches.	Aller.	22 100	2 588 267	22 097	23 324	$\frac{1}{43}$
	Retour.	28 392	3 729 360	24 551		
De Luzarches à Clermont.	Aller.	34 133	4 197 804	23 205	26 590	$\frac{1}{37,7}$
	Retour.	34 133	5 474 860	29 976		
De Clermont à Wavignies.	Aller.	22 950	5 020 776	41 273	36 909	$\frac{1}{27,1}$
	Retour.	22 950	3 995 986	32 545		
De Wavignies à Flers.	Aller.	23 108	5 420 506	43 845	38 682	$\frac{1}{25,8}$
	Retour.	23 108	4 105 158	33 519		
De Flers à Amiens.	Aller.	18 300	2 833 884	29 218	29 825	$\frac{1}{33,5}$
	Retour.	18 300	2 978 371	30 423		
Voyage de Paris à Nanci, et retour.						
De Neuilly-sur-Marne à Crécy.	Aller.	32 353	4 905 302	28 340	30 339	$\frac{1}{33}$
	Retour.	32 055	5 623 701	32 339		
De Crécy à La Ferté-Gaucher.	Aller.	32 475	6 128 536	35 274	30 345	$\frac{1}{33}$
	Retour.	32 475	4 477 814	25 416		
De La Ferté-Gaucher à Sézanne.	Aller.	33 679	6 503 561	36 094	30 450	$\frac{1}{32,9}$
	Retour.	33 679	4 532 342	24 806		
De Sézanne à Sommesous.	Aller.	35 896	5 428 698	28 268	26 696	$\frac{1}{37,5}$
	Retour.	35 896	4 892 602	25 124		
De Sommesous à Vitry.	Aller.	28 362	5 390 686	35 326	35 659	$\frac{1}{28,1}$
	Retour.	28 362	5 513 214	33 831		
De Vitry à Saint-Dizier.	Aller.	28 133	4 228 689	28 095	32 966	$\frac{1}{30,4}$
	Retour.	28 133	5 774 152	37 836		
De Saint-Dizier à Ligny.	Aller.	32 002	6 096 500	35 609	33 603	$\frac{1}{29,8}$
	Retour.	32 002	5 487 355	31 607		
De Ligny à Laie-Saint-Remy.	Aller.	34 257	5 284 838	28 835	29 687	$\frac{1}{33,7}$
	Retour.	34 257	5 675 419	30 538		
De Laie-Saint-Remy à Nanci.	Aller.	33 645	4 457 346	24 763	28 771	$\frac{1}{34,7}$
	Retour.	33 645	5 983 080	32 779		

NATURE ET ÉTAT DE LA ROUTE.	MATÉRIAUX employés à son entretien, et OBSERVATIONS.
:a voiture pesait 5300 *k. en allant, et* 5350 *au retour.*)	
› pavée, en bon état, couverte d'un peu de poussière.	
e pavée, en bon état, sèche le matin, mouillée vers midi, petite pluie peu de durée.	
e pavée, en bon état, sèche, couverte d'un peu de poussière.	
ierrement en mauvais état, humide.	Cailloux siliceux et calcaire dur; quelques frayés assez notables.
Id. id. beaucoup de poussière, sec.	
Id. id. humide, boue épaisse.	Cailloux siliceux et calcaire dur; quelques ornières assez profondes.
Id. id sec, couvert de poussière.	
Id. en très bon état, peu humide, sans boue.	Cailloux siliceux.
Id. id. très sec, peu de poussière.	
La voiture pesait 5350 *k. en allant, et* 5425 *au retour.*)	
:e tantôt pavée, tantôt en empierrement, très variable, couverte de boue.	
›ierrement, très variable, couvert de boue.	Calcaire siliceux.
Id. id. peu humide.	
›ierrement très variable, quelques rechargements considérables, humide.	Cailloux siliceux mêlés de calcaire.
Id. id. id. sec.	
›ierrement en très bon état, sec.	Id. id.
›ierrement en bon état, sec.	Petits cailloux de calcaire tendre, de Champagne.
Id. id. un peu humide.	
Id. id. très peu humide.	Id. id.
Id. id. un peu de boue.	
Id. id. sec.	Calcaire dur, quelques rechargements de matériaux.
Id. id. boue liquide.	
Id. id. sec, couvert de poussière.	Calcaire dur.
Id. id. mouillé, couvert de boue.	
Id. id. sec, un peu de poussière.	Cailloux siliceux et calcaire dur.
Id. id. mouillé, couvert de boue.	

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	SENS de la marche.	DISTANCE parcourue pendant l'expérience.	TRAVAIL total.	TRAVAIL pour transporter 1000 kilogr. à 1 kilomètre.		RAPPOR[T] du tirage moyen à la char[ge].

Voyage de Paris au Mans, et retour.

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	SENS de la marche.	DISTANCE (m.)	TRAVAIL total (km.)	TRAVAIL pour 1000 kilogr. à 1 kilomètre	(km.)	RAPPORT
De Putéaux au pont de Sèvres.	Aller.	5 863	861 136	27 373	27 346	$\frac{1}{36,7}$
	Retour.	5 865	852 438	27 320		
Du pont de Sèvres à Saint-Cyr.	Aller.	13 891	1 722 853	23 122	22 613	$\frac{1}{44,1}$
	Retour.	13 891	1 633 550	22 105		
De Saint-Cyr à Rambouillet.	Aller.	27 418	2 376 969	16 296	25 235	$\frac{1}{39,6}$
	Retour.	19 298	3 568 643	34 475		
De Rambouillet à Maintenon.	Aller.	21 697	2 422 780	20 817	34 080	$\frac{1}{29,4}$
	Retour.	21 697	5 464 883	47 344		
De Maintenon à Courville.	Aller.	38 077	5 569 263	27 267	29 220	$\frac{1}{34,3}$
	Retour.	37 882	6 282 528	31 174		
De Courville à Nogent-le-Rotrou.	Aller.	36 335	6 231 498	31 973	33 454	$\frac{1}{29,9}$
	Retour.	36 140	6 716 866	34 935		
De Nogent-le-Rotrou à Sceau.	Aller.	35 078	5 104 192	27 158	30 101	$\frac{1}{33,3}$
	Retour.	35 038	6 159 592	33 045		
De Sceau au Mans.	Aller.	33 811	5 328 029	29 388	28 398	$\frac{1}{35,2}$
	Retour.	33 811	4 931 964	27 419		

NATURE ET ÉTAT DE LA ROUTE.	MATÉRIAUX employés à son entretien, et OBSERVATIONS.
voiture pesait 5364 *k. en allant, et* 5320 *au retour.*)	
ırrement en très bon état, très uni, un peu de boue.	Cailloux siliceux.
pavée, en bon état, couverte de boue.	
Id. id. id.	
Id. id. humide.	
Id. id. couverte de boue.	
Id. id. humide, recouverte de sable fin.	
Id. id. boue, id.	
errement en bon état, très peu humide, un peu de poussière.	Cailloux siliceux et calcaire dur.
Id. id. un peu de boue.	
Id. id. humide, sans boue.	Cailloux siliceux.
Id. id. id.	
Id. id. un peu de boue.	
Id. id. un peu de poussière.	
Id. id. très uni, un peu humide.	
Id. id. id.	

77. *Examen des résultats contenus dans le tableau précédent. Routes pavées.* — Si nous réunissons d'abord les quantités de travail consommées par kilomètre et par tonne sur des routes pavées, nous obtenons les résultats suivants :

ROUTES.	PORTIONS DE ROUTES PARCOURUES.	ETAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	TRAVAIL MOYEN pour le transport de 1000 kilogr. à un kilomètre.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
D'Amiens.	De Saint-Denis à Luzarches.	Pavé en grès de Fontainebleau, en état ordinaire d'entretien.	km. 23 324	$\frac{1}{43,0}$
	De Luzarches à Clermont.		26 590	$\frac{1}{37,7}$
Du Mans.	Du pont de Sèvres à St-Cyr.		22 613	$\frac{1}{44,1}$
	De St-Cyr à Rambouillet.		25 2.5	$\frac{1}{39,6}$
		Moyenne.	24 940	$\frac{1}{40,1}$

Ainsi le transport de 1000 kil. à 1 kilom. sur une route pavée en état ordinaire d'entretien, tantôt sèche, tantôt humide, au pas, par le fourgon suspendu décrit plus haut, exige en moyenne une quantité de travail de 24940^{km}, ou un effort moyen de 24^{k},940 pour 1000, c'est-à-dire que le tirage moyen y est $\frac{1}{40,1}$ de la charge, ce qui s'éloigne fort peu de ce que l'on a déduit des expériences directes faites sur le pavé en grès de Fontainebleau, un peu humide et à l'état ordinaire d'entretien, et prouve que le dynamomètre à compteur donne des résultats aussi exacts, aussi réguliers pour des voyages d'un jour entier que pour des expériences de détail, et peut être employé en toute sécurité dans des recherches analogues. En effet, en prenant (Tableau n° 95, 1re partie) $A = 0{,}011$, et supposant le pas de 1^{m},00 en 1″, $\rho = 0^{m},036$ $f = 0{,}065$ au moins, $r' = 0^{m},445$, $r'' = 0^{m},700$: la formule du n° 55 (1re partie), donne

$$\frac{T}{P_1} = \frac{2(A + f\rho)}{r' + r''} = \frac{1}{42,7}$$

78. *Routes en empierrement en bon état.* — Sur des routes en empierrement en bon état, mais de diverses natures, on a obtenu les résultats moyens suivants :

ROUTES.	PORTION de ROUTES PARCOURUES.	ÉTAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	TRAVAIL MOYEN pour le transport de 1000 kilogr. à 1 kilom.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
			km.	
D'Amiens.	De Flers à Amiens.	En très bon état, entretenue de cailloux siliceux.	29 825	$\frac{1}{33,5}$
De Nanci.	De Sézanne à Sommesous.	En bon état, entretenue avec des cailloux siliceux, mêlés d'un peu de calcaire ferrugineux.	26 696	$\frac{1}{37,5}$
	De Ligny à Laie S.-Remy.	En bon état, entretenue avec du calcaire compacte.	29 686	$\frac{1}{33,7}$
	De Laie S.-Remy à Nanci.	En bon état, entretenue avec des cailloux siliceux, un peu de calcaire tendre et de cailloux de granit.	28 771	$\frac{1}{34,7}$
Du Mans.	De Maintenon à Courville.	En bon état, entretenue avec des cailloux siliceux et du calcaire dur.	29 220	$\frac{1}{34,2}$
	De Sceau au Mans.	En très bon état, entretenue avec des cailloux siliceux.	28 390	$\frac{1}{35,2}$
		Moyenne.	28 874	$\frac{1}{34,7}$

Ainsi le transport de 1000 kil. à 1 kilom. sur des routes en empierrement de cailloux siliceux ou de calcaire dur, en bon état, à peu près sèches, ou un peu humides, exige une quantité de travail moyennement égale à $28\,874^{km}$, ou un effort de $28^k,874$ par 1000 kilom., c'est-à-dire que le tirage est environ $\frac{1}{34,7}$ de la charge.

Les expériences directes rapportées dans la 1re partie nous ont donné, pour des routes à cet état, $A = 0,0150$, et la formule du n° 55 nous conduit, avec les données relatives à la voiture employée, rapportées au numéro précédent, à la valeur

$$\frac{T}{P_1} = \frac{2(A + f\rho)}{r' + r''} = \frac{1}{32,8}.$$

Ainsi, il y a accord à peu près parfait entre les résultats des expériences directes et partielles et ceux d'un voyage entier.

9. *Comparaison des résultats obtenus sur les routes pavées et sur les bonnes routes en empierrement.* — En rapprochant les résultats obtenus sur le pavé de ceux qui ont été fournis par les bonnes routes en empierrement, dans les circonstances les plus favorables à celles-ci, on voit que le tirage est toujours

plus grand sur les routes en empierrement que sur le pavé d'environ $\frac{1}{6}$ de sa valeur dans ce dernier cas.

80. *Routes en empierrement en état médiocre d'entretien.* — Sur des routes en empierrement en état médiocre d'entretien, mais dans la belle saison, le tableau précédent montre qu'on a trouvé les résultats suivants :

ROUTES.	PORTION de ROUTES PARCOURUES.	ÉTAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	TRAVAIL MOYEN pour le transport de 1000 kilogr. à 1 kilom.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
D'Amiens.	De Clermont à Wavignies	En mauvais état, entretenue avec des cailloux siliceux et du calcaire dur.	km. 36 909	$\frac{1}{27,1}$
	De Wavignies à Flers.	En mauvais état, avec ornières; mêmes matériaux.	38 682	$\frac{1}{25,8}$
		Moyenne.	37 795	$\frac{1}{26,5}$
De Nanci.	De Sommesous à Vitry.	En bon état, entretenue avec du calcaire tendre de la Marne.	35 658	$\frac{1}{28,1}$
	De Vitry à Saint-Dizier.		32 965	$\frac{1}{30,4}$
	De Saint-Dizier à Ligny.	En état ordinaire, entretenue avec du calcaire dur, avec rechargement de matériaux.	33 608	$\frac{1}{29,8}$
Du Mans.	De Courville à Nogent-le-Rotrou.	En état ordinaire, entretenue avec des cailloux siliceux.	33 454	$\frac{1}{29,9}$

Ainsi, sur la route d'Amiens, entretenue avec des cailloux siliceux et du calcaire compacte dur, dont le fond n'est pas solide, sur laquelle il y avait beaucoup de sable et de poussière, un frayé notable, et même des ornières à la fin de la belle saison, le travail moyen nécessaire pour le transport de 1000 kil. à un kilom. est de 37 795 km., et le tirage de $37^k,795$ par 1000 k. de charge, ou $\frac{1}{26,4}$ de la charge; tandis que, sur le pavé, il n'est que de $\frac{1}{40}$, et que, sur des routes en bon empierrement un peu humides, il n'est que $\frac{1}{34,7}$.

Ce résultat montre de quelle importance sont pour la facilité des transports l'emploi de bonnes méthodes d'entretien et les soins assidus, et quel tort peut faire à l'industrie l'esprit de système ou la négligence.

A l'inverse, nous voyons que, sur les routes de la Champagne, entre Sommesous et Saint-Dizier, où l'on n'a que de petits cailloux en calcaire tendre, plats et fort peu résistants, les soins et l'emploi des bonnes méthodes ont permis à M. Dupuit, ingénieur en chef de la Marne, d'obtenir un état, sinon parfait, du moins tel, que le transport de 1000 kilog. à un kilom. n'exige qu'un travail moyen de 34 312 km., ou un tirage de $34^k,31$ par 1000 kil., ou de $\frac{1}{29,1}$ de la charge; ce qui montre d'une manière évidente l'influence des bonnes méthodes.

81. *Expériences partielles exécutées pendant la route.* — Outre les expériences, qui nous ont fourni les quantités de travail totales développées dans une journée d'étape pour le transport d'un poids donné, il a été facile d'exécuter, chemin faisant, et sans interruption, des expériences partielles sur les quantités de travail développées sur des portions des mêmes routes à différents états et à très peu près horizontales : de sorte qu'en prenant la moyenne arithmétique des résultats obtenus sur les mêmes parties à l'aller et au retour, on a obtenu le travail ou le tirage moyen pour ces parties rapportées à un plan de niveau.

Ces observations de détail ont toujours été faites sur des longueurs qui n'ont jamais eu moins de 500 mètres, mais le plus souvent 1000 à 2000 mètres, et parfois 4000 à 5000 mètres.

Les lieux où elles ont été exécutées sont indiqués par les numéros des bornes milliaires ou kilométriques correspondantes, ainsi que les distances parcourues; l'état d'entretien de la route, et la nature des matériaux employés, sont exactement signalés.

Les résultats de ces observations sont consignés dans le tableau suivant :

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	BORNES milliaires ou kilométriques.	SENS de la marche.	DISTANCE parcourue pendant l'expérience.	TRAVAIL total.	TRAVAIL pour transporter 1000 kilogr. à 1 kilomètre.		[illegible]
Voyage de P[...]							
Entre Clermont et Wavignies.	de 80	Aller.	2000 m.	510 848 k.	48 193 km.	40 753	[illegible]
Id.	à 82	Retour.	2000	356 449	33 313		
Id.	de 82	Aller.	2000	471 511	44 482	39 508	[illegible]
Id.	à 84	Retour.	2000	369 525	34 535		
Entre Wavignies et Flers.	de 86	Aller.	3000	800 659	50 336	41 400	[illegible]
Id.	à 89	Retour.	3000	520 746	32 445		
Id.	de 89	Aller.	1000	231 206	45 624	39 451	[illegible]
Id.	à 90	Retour.	1000	188 742	33 279		
Id.	de 106	Aller.	1000	195 883	36 959	35 215	[illegible]
Id.	à 107	Retour.	1000	197 077	33 472		
De Flers à Amiens.	de 110	Aller.	2000	314 698	29 688	31 022	[illegible]
Id.	à 112	Retour.	2000	346 216	32 356		
Id.	de 116	Aller.	3000	438 864	27 600	28 393	[illegible]
Id.	à 119	Retour.	3000	468 440	29,186		
Voyage de P[...]							
Entre Neuilly-sur-Marne et Crécy. . . .	de 10	Aller.	2000	186 551	17 435	19 831	[illegible]
	à 11	Retour.	2000	243 308	22 427		
	de 18	Aller.	2000	361 406	35 178	27 801	[illegible]
	à 19	Retour.	2 000	243 308	22 425		
Entre Crecy et Laferté-Gaucher.	de 26	Aller.	2000	265 499	24 813	28 141	[illegible]
	à 27	Retour.	2000	341 454	31 470		
	de 37	Aller.	2000	369 594	34 541	31 380	[illegible]
	à 38	Retour.	2000	306 192	28 220		
Entre Laferté-Gaucher et Sezanne. . . .	de 15	Aller.	1000	264 330	49 407	43 824	[illegible]
	à 16	Retour.	1000	207 458	38 241		
	de 16	Aller.	1000	283 628	53 014	46 331	[illegible]
	à 17	Retour.	1000	215 098	39 649		
	de 17	Aller.	1000	295 570	54 873	47 478	[illegible]
	à 18	Retour.	1000	217 449	40 083		
	de 18	Aller.	1000	218 130	40 772	36 040	[illegible]
	à 19	Retour.	1000	169 845	31 308		

NATURE ET ÉTAT DE LA ROUTE.	MATÉRIAUX employés à son entretien, et OBSERVATIONS.
miens.	
ierrement en mauvais état, couvert de sable humide.	
Id. id. couvert de beaucoup de poussière.	Silex pyromaque.
Id. id. couvert de sable humide.	
Id. id. couvert de beaucoup de poussière.	
Id. id. couvert de sable humide.	
Id. id. couvert de beaucoup de poussière.	
Id. id. couvert de poussière humide.	Silex pyromaque et calcaire compacte dur.
Id. id. sec, couvert de poussière.	
›ierrement en bon état, assez uni, humide.	
Id. id. id. sec, couvert d'un peu de poussière.	
Id. id. uni, très peu humide.	
Id. id. uni, très sec, sans poussière.	Silex pyromaque.
Id. id. uni, presque sec.	
Id. id. uni, très sec.	
Vanci.	
é en bon état, couvert de boue et d'eau.	
Id. couvert de boue épaisse.	
ıpierrement en état médiocre, humide.	Calcaire compacte dur.
ıpierrement en bon état, un peu de boue; quelques faibles rechargements.	
Id. id. sec, sans poussière.	
ıpierrement en état médiocre, grosses pierres à fleur du sol, boue sèche.	Pierre meulière.
Id. id. id. humide.	
mpierrement mauvais état, is de matériaux; grosses pierres rcent le sol; us profonds et ornières. — humide, çà et là quelques rechargements assez considérables.	
humide.	
Id.	
Id.	
Id.	Calcaire compacte dur et cailloux siliceux.
Id.	
ıpierrement en meilleur état, humide.	
Id. id. moins humide.	Calcaire siliceux.

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	BORNES miliaires ou kilométriques.	SENS de la marche.	DISTANCE parcourue pendant l'expérience.	TRAVAIL total.	TRAVAIL pour transporter 1000 kilogr. à 1 kilomètre.		R[…]
							Voyage d[…]
			m.	k.m.	km.		
Entre Sézanne et Sommesous	de 36	Aller.	2000	293 570	27 436	26 176	[illegible]
	à 38	Retour.	2000	270 342	24 916		
	de 38 à 40	Aller.	2000	260 236	24 322	22 831	[illegible]
	de 39 à 38	Retour.	1000	115 777	21 341		
	de 40 à 44	Aller.	4000	555 268	25 947	23 351	[illegible]
	de 39 à 44	Retour.	5000	563 017	20 756		
	de 49	Aller.	4000	607 022	28 365	28 577	[illegible]
	à 53	Retour.	4000	624 725	28 789		
	de 55	Aller.	2000	340 938	31 863	29 784	[illegible]
	à 57	Retour.	2000	300 608	27 705		
	de 59	Aller.	2500	381 874	28 551	27 372	[illegible]
	à 61,5	Retour.	2500	355 265	26 194		
Entre Vitry et Saint-Dizier	de 34	Aller.	4000	558 484	26 097	28 797	[illegible]
	à 38	Retour.	4000	683 495	31 498		
	de 38	Aller.	4000	558 776	26 111	31 214	[illegible]
	à 42	Retour.	4000	788 106	36 318		
	de 42	Aller.	4000	480 706	22 463	33 033	[illegible]
	à 46	Retour.	4000	946 197	43 603		
	de 4	Aller.	5000	894 744	33 448	35 131	[illegible]
	à 9	Retour.	5000	998 502	36 813		
Entre Saint-Dizier et Ligny	de 26	Aller.	500	89 474	33 448	36 667	[illegible]
	à 26,5	Retour.	500	108 137	39 886		
De Ligny à Laie-Saint-Remi	de 52	Aller.	1000	108 773	20 331	20 945	[illegible]
	à 53	Retour.	1000	116 952	21 559		
	entre 57	Aller.	834	97 662	21 888	20 878	[illegible]
	et 58	Retour.		88 716	19 468		
De Laie-Saint-Remi à Nanci	de 8,3	Aller.	700	83 623	22 330	25 635	[illegible]
	à 9	Retour.	700	109 900	28 940		
	21,5 à 22,1	Aller.	500	107 018	40 007	32 461	[illegible]
	22 à 21,5	Retour.	600	81 103	24 916		

NATURE ET ÉTAT DE LA ROUTE.	MATÉRIAUX employés à son entretien, et OBSERVATIONS.
anci.	
ierrement en bon état, uni, peu humide, sans boue.	Cailloux de silex.
Id. id. uni, sec, très peu de poussière.	
Id. id. très peu humide.	
Id. id. sec, très peu de poussière.	
Id. id. sec.	
Id. id. sec.	
Id. id. sec.	
Id. id. humide.	
Id. id. sec.	Silex mêlé de calcaire ferrugineux.
Id. id. humide.	
Id. id. sec.	Cailloux de silex.
Id. id. humide.	
ıpierrement en bon état, couvert de boue sèche.	Cailloux plats de calcaire tendre de la Marne.
Id. id. humide, boue.	
Id. id. boue sèche.	
Id. id. humide.	
Id. id. boue sèche.	
Id. id. humide.	
ıpierrement en état médiocre, boue sèche; quelques emplois de matériaux assez considérables.	
opierrement en état médiocre, un peu de poussière; rechargem. de matériaux.	Calcaire compacte dur.
Id. id. boue liquide, id.	
ıpierrement en bon état, un peu de poussière.	
Id. id. boue et eau.	
Id. id. très peu de poussière.	
Id. id. boue liquide.	
opierrement en assez bon état, beaucoup de poussière.	Cailloux siliceux mêlés de calcaire dur et de quelques cailloux de granit désagrégé.
Id. id. boue et eau.	
opierrement en état médiocre, sec; trous et faibles rechargements.	
Id. id. boue et eau; id.	

PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	BORNES milliaires ou kilométriques.	SENS de la marche.	DISTANCE parcourue pendant l'expérience.	TRAVAIL total.	TRAVAIL pour transporter 1000 kilogr. à 1 kilomètre.		[illegible]
Voyage de[…]							
			m.	km.	km.		
Entre Puteaux et Saint-Cloud	de 14	Aller.	1000	137 723	25 676	25 753	1/[illegible]
	à 15	Retour.	1000	137 434	25 831		
Entre Saint-Cyr et Rambouillet.	de 13	Aller.	6000	459 853	14 288	16 409	1/[illegible]
	à 16	Retour.	6000	591 488	18 530		
Entre Maintenon et Courville.	de 95	Aller.	1000	209 340	39 027	45 292	1/[illegible]
	à 96	Retour.	1000	274 288	51 558		
	103 à 105	Aller.	2000	310 241	28 918	37 405	1/[illegible]
	105 à 104	Retour.	1000	244 134	45 889		
Entre Nogent-le-Rotrou et Sceau. . . .	de 5,4	Aller.	600	92 782	28 829	27 404	1/[illegible]
	à 6	Retour.	600	82 924	25 979		
	de 7	Aller.	1000	181 506	33 837	23 418	1/[illegible]
	à 8	Retour.	1000	122 357	[illegible]999		
	de 8	Aller.	2600	320 039	22 952	29 042	1/[illegible]
	à 10,6	Retour.	2600	485 948	25 132		
Entre Sceau et Le Mans.	de 184,4	Aller.	1400	279 217	37 181	30 892	1/[illegible]
	à 185,8	Retour.	1400	183 245	24 603		
	de 192	Aller.	1400	165 269	22 007	26 964	1/[illegible]
	à 193,4	Retour.	1400	237 755	31 921		
	de 195,2	Aller.	4200	586 849	26 049	23 957	1/[illegible]
	à 199,4	Retour.	4200	487 687	21 826		
	entre 200,4 et 207,8	Aller.	7367	945 801	23 934	22 073	1/[illegible]
	de 207,4 à 200,4	Retour.	7000	752 697	20 212		
	de 210,2 à 212,8	Aller.	2600	372 869	26 133	23 852	1/[illegible]
	de 212,6 à 210,2	Retour.	2400	275 448	21 572		

NATURE ET ÉTAT DE LA ROUTE.	MATÉRIAUX employés à son entretien, et OBSERVATIONS.
'ans.	
›rrement en très bon état, uni, humide, un peu de boue.	Pierre meulière.
Id. id. uni, humide, sans boue.	
en bon état, humide, sans boue.	
Id. un peu de boue.	
›rrement en état médiocre, humide, sans boue.	Silex pyromaque.
›rrement en bon état, boue humide.	
Id. id. un peu de poussière.	
Id. id. id.	
Id. id. id.	
Id. id. un peu de boue humide.	
Id. id. un peu de poussière.	
›rrement en bon état, humide, très peu de boue.	
›rrement en très bon état, humide, un peu de boue.	
Id. id. quelques faibles rechargements.	
Id. id. très uni, un peu humide.	
Id. id. id. sec.	
Id. id. très uni, un peu humide.	
d. id. id. sec.	
d. id. très uni, très peu humide.	
d. id. id. id.	

82. ***Examen des résultats contenus dans le tableau précédent. — Pavé.*** Les expériences faites sur la route de Neuilly-sur-Marne à Crécy, entre les bornes milliaires 10 et 11, en allant et revenant sur une étendue de 2000 mètres, donnent pour le tirage moyen $\frac{1}{50,4}$ de la charge, et celles qui ont été exécutées sur la route de Saint-Cyr à Rambouillet, entre les bornes milliaires 13 et 16, sur une étendue de 6000 mètres, donnent pour le même rapport $\frac{1}{60,9}$; les expériences directes de 1839 nous ont conduit, pour un pavé en bon état, à la valeur $\frac{1}{57,1}$ du même rapport (tableau du n° 95, 1re partie). Il y a donc accord entre ces résultats.

Routes en empierrement. Sur les routes en empierrement en très bon état on trouve :

PORTIONS DE ROUTES PARCOURUES.	ETAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	BORNES milliaires ou kilométriques	DISTANCE parcourue.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Entre Flers et Amiens...	En très bon état, entretenue.	110 à 112	2000m	$\frac{1}{32,3}$
	Avec des cailloux siliceux.	116 à 119	3000	$\frac{1}{35,2}$
Entre Neuilly-sur-Marne et Crécy.	En état ordinaire, entretenue avec du calcaire dur.	18 à 19	2000	$\frac{1}{36,0}$
De Crécy à Laferté-Gaucher.	En bon état, entretenue avec de la pierre meulière.	26 à 27	2000	$\frac{1}{35,5}$
Entre Sézanne et Sommesous	En bon état, entretenue avec des cailloux siliceux mêlés d'un peu de calcaire.	36 à 38	2000	$\frac{1}{38,2}$
		49 à 53	4000	$\frac{1}{35,0}$
		55 à 57	2000	$\frac{1}{33,6}$
		59 à 61,5	2500	$\frac{1}{36,5}$
Entre Vitry et St-Dizier.	En bon état, entretenue avec du calcaire tendre et de la marne.	34 à 38	4000	$\frac{1}{34,7}$
		38 à 42	4000	$\frac{1}{32,0}$
Entre Laie-St-Remy et Nanci	En bon état, entretenue avec des cailloux siliceux et du calcaire dur.	8.3 à 9	700	$\frac{1}{39,0}$
			Moyenne	$\frac{1}{35,6}$

Ainsi, sur des routes en empierrement de calcaire ou de cailloux siliceux en bon état, très peu humides, nous voyons que le tirage du fourgon a

été moyennement égal à $\frac{1}{35,6}$ de la charge, et nos expériences directes nous ont donné pour les diligences proportionnées comme ce fourgon le rapport $\frac{1}{33,7}$ pour des routes au même état.

Sur quelques parties de routes en parfait état, très peu humides, nous voyons même que le rapport du tirage à la charge s'abaisse encore, puisqu'on a obtenu

PORTION de ROUTES PARCOURUES.	ÉTAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	BORNES milliaires ou kilométriques	DISTANCE parcourue.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Entre Sézanne et Sommesous.	En très bon état.	38 à 40	m 2000	$\frac{1}{43,8}$
Entre Ligny et Laie-Saint-Remy.	Idem.	52 à 53	1000	$\frac{1}{47,8}$
		57 à 58	810	$\frac{1}{48,4}$

Ce qui est la valeur moyenne que nous avons trouvée pour les routes des environs de Courbevoie, sèches et au meilleur état.

Sur la route de Sceau au Mans, en très bon état, très unie et un peu humide, nous trouvons :

PORTIONS DE ROUTES PARCOURUES.	ÉTAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	BORNES milliaires ou kilométriques	DISTANCE parcourue.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Entre Sceau et le Mans.	En parfait état, un peu humide, entretenue avec des cailloux de silex.	195,2 à 199,4	m. 4200	$\frac{1}{41,8}$
		200,4 à 207,4	7000	$\frac{1}{45,5}$
		210,2 à 212,8	2600	$\frac{1}{41,9}$

A ces résultats satisfaisants des bonnes méthodes d'entretien nous devons opposer ceux qui ont été trouvés sur des routes où, malgré la bonne qualité des matériaux, il existe des frayés, des ornières notables (1).

(1) L'état de ces routes tient à des causes assez anciennes et antérieures à l'époque où les ingénieurs en chef actuels de ces départements ont pris le service.

PORTIONS DE ROUTES PARCOURUES.	ÉTAT D'ENTRETIEN et MATÉRIAUX EMPLOYÉS.	BORNES milliaires ou kilométriques	DISTANCE parcourue.	RAPPORT du tirage à la charge totale.
Entre Clermont et Wavignies.	En mauvais état, couverte de sable et de poussière; entretenue avec des cailloux siliceux.	80 à 82	m. 2000	$\frac{1}{25,4}$
		82 à 84	2000	$\frac{1}{25,7}$
Entre Wavignies et Flers.	Idem.	86 à 89	3000	$\frac{1}{25,5}$
		89 à 90	1000	$\frac{1}{26,6}$
		106 à 107	1000	$\frac{1}{28,5}$
Entre La Ferté-Gaucher et Sézanne.	En mauvais état, ornières; grosses pierres.	16 à 17	1000	$\frac{1}{21,6}$
		17 à 18	1000	$\frac{1}{21,1}$
		18 à 19	1000	$\frac{1}{27,7}$

Ces chiffres parlent d'eux-mêmes, et si des différences aussi énormes dans l'intensité du tirage ont été observées en septembre et octobre, on ne saurait douter qu'elles ne fussent encore beaucoup plus grandes dans la mauvaise saison.

Les observations précédentes donnent, en quelque sorte, la mesure de l'avantage immense que l'industrie peut retirer de l'emploi des bonnes méthodes d'entretien des routes, et du tort qu'on lui fait quand on néglige de les employer. Elles prouvent que, malgré les progrès incontestables que l'on remarque dans l'état général de nos routes, il y a encore beaucoup à faire pour les amener à un état tout à fait satisfaisant, et surtout aussi uniforme que possible. Les succès remarquables obtenus à l'aide de ces méthodes dans les localités les plus défavorables, par des ingénieurs habiles et persévérants, ne laissent aucun doute sur la marche à suivre. Quoique dans la mauvaise saison la dégradation l'emporte encore, dans quelques endroits, sur l'entretien, il ne peut plus y avoir de divergence, il est temps que les opinions dissidentes cèdent à l'évidence des faits, et que des règlements généraux prescrivent, d'une manière absolue, l'emploi des méthodes reconnues aujourd'hui les plus avantageuses, et que des allocations convenables assurent les moyens d'exécution. Il ne suffit pas de faire des lois, de réglementer l'industrie des

transports; il faut en même temps s'efforcer d'amener graduellement les routes à toute la perfection dont elles sont susceptibles, et dont elles sont encore si loin pour la plupart.

83. *Moyen de contrôle propre à assurer l'amélioration rapide des routes.* — Parmi les moyens que l'on peut employer pour approcher sans cesse de cette perfection si désirable, il en est un que je crois presque infaillible, et qui mettrait à même de constater sans cesse les progrès obtenus et les progrès à faire.

On sait quelles immenses améliorations l'ouverture, la tenue régulière et surtout la publication des états mensuels des effets utiles obtenus par les machines à vapeur, dans les mines de Cornouailles, ont produit depuis 1814. Il est résulté du fait seul de cette publication une telle émulation entre les ingénieurs, les constructeurs et les propriétaires de machines, que l'effet utile de ces machines a été sans cesse en augmentant depuis cette époque. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, que l'effet utile, par kilogramme de charbon brûlé, pour les machines dont les cylindres ont $1^m,524$ à $1^m,778$ de diamètre, a successivement atteint les valeurs suivantes; en

1814	1821	1828	1832
75 802 kil. m.	92 307 kil. m.	134 227 kil. m.	169 280 kil. m.

C'est-à-dire qu'il a plus que doublé dans l'intervalle de 21 ans.

Si un moyen simple de comparaison et si la publicité ont pu stimuler à un tel degré le zèle des industriels, déjà mus par l'intérêt particulier, que ne devrait-on pas attendre de son application aux routes? C'est dans la conviction profonde de l'efficacité d'une semblable méthode pour l'amélioration rapide et certaine de nos routes que j'en propose l'application de la manière suivante :

Chaque année, aux mois de mars ou d'avril et aux mois de septembre ou d'octobre, on ferait, dans chaque département, des expériences semblables à celles qui ont été exécutées en 1841 sur les routes d'Amiens, de Nanci et du Mans. Elles seraient toutes exécutées, autant que possible, avec des voitures à quatre roues dont les proportions se rapprocheraient de celles qui sont le plus en usage, afin que toutes les expériences fussent comparables. Pour donner de l'authenticité à ces expériences, si faciles à exécuter, elles seraient faites par les soins et sous la surveillance des ingénieurs des ponts et chaussées, et de quelque membre ou délégué du conseil général du département, et leurs résultats seraient exactement publiés, pendant le trimestre suivant, dans les *Annales des ponts et chaussées.*

Dans ces documents, l'administration aurait la mesure des progrès obtenus

et des améliorations à faire, et pourrait proportionner convenablement les ressources à allouer, les ingénieurs montreraient les résultats de leurs efforts et leurs succès, et l'industrie trouverait la preuve de la sollicitude du gouvernement à hâter les améliorations qu'elle réclame, ainsi que des éléments positifs pour la composition de ses attelages et de ses chargements.

RÉSUMÉ GÉNÉRAL ET CONCLUSIONS DE LA DEUXIÈME PARTIE.

Toutes les conclusions partielles que nous avons déduites des expériences contenues dans les chapitres précédents peuvent se résumer ainsi qu'il suit:

84. *Influence de la largeur des bandes de roue.* — 1° La loi de la proportionnalité des chargements aux largeurs des bandes de roue, admise dans l'hypothèse d'une répartition uniforme de la pression sur toute la largeur correspondante à celle de la bande, et introduite comme base fondamentale des tarifs de chargement dans l'intérêt de la conservation des routes, n'est pas exacte, et, avec les chargements réglés suivant cette loi, les voitures à larges jantes dégradent plus les routes que les voitures à jantes étroites.

2° A chargement égal, les roues à jantes étroites de $0^m,060$ produisent sur les routes en empierrement des dégradations plus considérables que les roues à jantes de $0^m,115$ et de $0^m,175$; mais il y a peu de différence entre les dégradations produites par des roues de ces deux dernières dimensions: par conséquent il y a peu d'avantages pour la conservation des routes à employer des jantes plus larges que $0^m,115$.

Si les jantes d'une grande largeur n'offrent pas d'avantages notables sur les routes en empierrement, il en est à plus forte raison de même sur le pavé. En outre, le ballottement continuel qu'éprouvent les roues très larges en passant d'un pavé à un autre produit des chocs nuisibles à la conservation des routes.

3° Les chargements réglés par la formule $P = 150 \left(n + \frac{n' - n}{2}\right)^k$ (V. n° 21) seraient un peu trop faibles pour les jantes de $0^m,115$ de largeur, et trop forts pour celles de $0^m,060$.

85. *Résultats relatifs aux chariots à grandes roues.* — 4° Sur un chariot à quatre roues de 0m,060 de largeur et de 1m,30 de diamètre à l'avant-train, et 1m,50 au train de derrière, on peut, sans qu'il en résulte des dégradations trop considérables pour les routes en bon empierrement, charger, un poids de 2400 kil. dans une saison variable; dans la saison des pluies continuelles, et sur des routes de même nature, toujours mouillées, on peut charger 1800 k. sur des voitures semblables.

86. *Influence de la grandeur des diamètres sur la dégradation des routes.* — 5° A chargements égaux et à largeurs égales des bandes de roue, les voitures à grandes roues dégradent moins les routes que les voitures à petites roues.

La loi doit donc favoriser autant que possible les charrettes à grandes roues, et tendre à faire augmenter le diamètre des roues des chariots. Dans ce but, on pourrait d'abord limiter à 1 mètre la hauteur inférieure des roues de devant des voitures dont l'avant-train doit, en tournant, passer sous les brancards. Cette limite est déterminée par la nécessité de ne pas élever trop haut le centre de gravité du chargement. De la dimension des roues de devant dépendent ensuite la hauteur des brancards, celle de l'essieu de derrière, et par conséquent le diamètre des roues de derrière, que l'industrie tendra naturellement à augmenter autant que possible pour diminuer le tirage.

87. *Limites des chargements par train.* — 6° Un chargement de 2465 kil. par train transporté par un chariot à roues de 2m,029 de diamètre sur 0m,115 de large, sur une route en bon empierrement, n'y occasionne pas de dégradations notables, même quand cette route est presque constamment mouillée; et comme d'une autre part un chargement de 5000 kil. porté par une charrette à roues de 0m,165 de largeur et 1m,83 de diamètre, et un chargement de 7935 kil. porté sur un chariot à quatre roues de 0m,165 de largeur et 1m,011 de diamètre à l'avant-train et 1m,73 à l'arrière, produisent des dégradations considérables, on voit qu'il serait à désirer, dans l'intérêt de la conservation des routes, que les chargements des voitures n'excédassent pas 3500 à 4000 k. par train.

88. *Limite inférieure de la largeur de bande des charrettes.* — 7° Un chargement de 1800 kil. par train sur un chariot à roues de 0m,06 de largeur sur une route en bon empierrement, mais constamment mouillée, y produit des dégradations assez considérables : d'où il suit que, pour pouvoir laisser porter aux charrettes à un seul cheval les chargements d'environ 2000 kil. nécessaires pour que leur emploi puisse être avantageux au commerce, il faut qu'elles aient des roues de 0m,07 de largeur de jante au moins.

89. *Influence de la répartition des charges.* — 8° La répartition des char-

ges sur deux ou plusieurs trains, produisant celle de la pression sur le sol, contribue à diminuer les dégradations.

Le transport de 7 000 000 kil. exécuté par des voitures comtoises à jantes de 0m,06, pesant chacune 1800 kil., et marchant en convoi par quatre, produit moins de dégradations sur une route toujours mouillée que celui du même poids par des chariots de roulage à roues de 0m,165 de la largeur, et chargés de 7935 kil., véhicule compris; et le transport du même poids sur des charrettes à roues de 0m,165 de largeur, chargées de 5009 kil., produit plus de dégradations que quand il est effectué par les deux genres de voitures précédentes.

Par conséquent, dans l'intérêt de la conservation des routes, la loi doit favoriser l'emploi des voitures à un cheval, marchant par convois, soit du genre des comtoises, soit du genre des charrettes dites maringottes (1).

9° *Le chargement maximum doit être inférieur à* 8000 *kil.* — La charge de 8000 kil., produisant, sur une route en empierrement continuellement mouillée, des dégradations considérables, il s'ensuit qu'elle doit être regardée comme une limite trop élevée qu'il convient d'abaisser.

90. *Influence de la suspension. Chargement des diligences.* — 10° Les voitures suspendues allant au trot à des vitesses de 2li,9 à 3li,25 à l'heure, avec des chargements de 5000 kil., sur des routes en empierrement de gravier continuellement mouillées, ne produisent pas plus de dégradations que des voitures exactement pareilles, mais non suspendues, allant au pas.

Par conséquent, dans l'intérêt des routes, il n'y a aucune raison de limiter les chargements de ces voitures à des poids inférieurs à ceux du roulage ordinaire.

Il y aurait d'ailleurs avantage à fixer pour limites inférieures des diamètres des roues 1 mètre à 1m,10 pour celles de l'avant-train, et 1m,50 à 1m,60 pour celles du train de derrière, sans que cela gênât la construction.

91. *Observations sur l'action des voitures sur les routes.* — Après avoir rapporté et discuté séparément les résultats des diverses séries d'expériences

(1) Relativement aux avantages de la répartition des charges sur un ou plusieurs trains, il faut observer qu'ils seront d'autant plus grands que les roues d'une même voiture auront des diamètres plus grands, et en même temps plus voisins de l'égalité. On sait en effet que les voituriers, qui ont depuis long-temps reconnu la facilité que les grandes roues donnent pour le tirage, chargent beaucoup plus le train de derrière que celui de devant, ce qui rend le pesage en bloc d'une voiture à peu près illusoire, et avait conduit l'administration des ponts et chaussées à essayer un pesage partiel.

exécutées en 1839 aux environs de Paris, il convient de chercher à établir quelques principes généraux sur l'action que les voitures exercent sur les routes.

92. *Rupture des matériaux.* — Remarquons d'abord que les effets de destruction produits par les véhicules sont dus à deux causes distinctes, la rupture, la pulvérisation des matériaux et leur déplacement.

La rupture des matériaux dépend à la fois de leur dureté, de leur grosseur, de la charge transportée, et de la résistance, variable avecle degré d'humidité, que la route oppose à leur pénétration. La dureté des matériaux et l'état d'humidité des routes étant des données dont on ne peut disposer, on ne peut éviter la rupture que par la limitation ou la répartition des charges.

On a cru, jusqu'à ces derniers temps, parvenir à une répartition à peu près uniforme, et surtout favorable aux routes, en obligeant le roulage à employer de très larges jantes, et en proportionnant les chargements à ces largeurs. Les expériences que j'ai rapportées précédemment montrent que cette base n'est pas exacte.

Quant à la séparation et au déplacement des matériaux, remarquons d'abord que la partie de cet effet qui est produite par l'action des pieds des chevaux se répartit à peu près uniformément sur la surface; que, si elle contribue à augmenter l'entretien, elle accroît peu la résistance, et que, sous ce rapport, qui est le point essentiel et celui dont j'ai dû m'occuper principalement, elle a beaucoup moins d'importance que les effets produits par les roues.

Ensuite, s'il est vrai que les roues étroites produisent cet effet en s'introduisant dans les parties tendres et désagrégées des routes, il ne l'est peut-être pas moins que les roues très larges, par le mouvement latéral et de glissement de leur surface sur le sol, arrachent et désunissent les matériaux le mieux liés. Aussi l'expérience semble-t-elle indiquer que l'avantage de la largeur des jantes cesse d'être sensible au delà d'une dimension peu élevée.

On doit observer en outre que les charrettes fortement chargées qui suivent des ornières profondes ou qui marchent sur un pavé inégal, en ballottant sans cesse à droite et à gauche, produisent des effets de déplacement notables dans les matériaux.

Ceci s'applique particulièrement au transport des pierres de taille, qui s'effectue, à Paris et aux environs, sur des charrettes dont les roues sont démesurément larges. Le ballottement des roues étant beaucoup moindre avec les voitures à deux trains, et la répartition de la charge diminuant la fatigue du pavé, il serait à désirer que tous ces transports ne s'exécutassent que sur des voitures à quatre roues, ainsi que cela se pratique en Lorraine et en Alsace

pour des masses au moins aussi considérables que celles que l'on emploie à Paris.

93. *Influence de la grandeur des diamètres des roues sur le déplacement des matériaux.* — D'un autre côté, la grandeur du diamètre a une influence très notable sur la désagrégation des matériaux, ainsi que je l'ai fait voir dans mon premier Mémoire, et que cela a été confirmé par les expériences rapportées au n° 32 (2me partie).

Les petites roues produisent, à largeurs et à chargements égaux, beaucoup plus de dégradations que les grandes, et jusqu'ici la législation, faite dans l'intérêt de la conservation des routes, n'a cependant tenu aucun compte de cette influence, dont la proportion est d'ailleurs très difficile à déterminer directement. Remarquons en outre (voir n° 56 de la 1re partie) que l'effort exercé par les roues pour pousser devant elles les matériaux dépend de leur diamètre, de l'intensité du frottement des matériaux les uns sur les autres, lequel varie avec les saisons, de la nature du sol et de la dimension des matériaux, et que, par conséquent, les petites roues seront, à proportion, plus nuisibles aux routes dans la saison des pluies que dans l'été, dans les terrains mous que dans les sols durs, et sur les routes entretenues avec de gros matériaux que sur celles où l'on en emploiera de petits.

94. *Chariots comtois.* — Parmi les voitures à quatre roues qui ont des roues de devant d'un grand diamètre sont les voitures comtoises, auxquelles on peut fixer, comme nous l'avons dit plus haut, pour limite inférieure des diamètres, 1m,25 à 1m,30 pour les roues de devant, et 1m,45 à 1m,50 pour celles de derrière. Mais comme, d'un autre côté, ce genre de véhicule, pour être avantageux, doit être léger, on peut, par compensation à la grandeur exigée pour les diamètres, et en se fondant sur les résultats des expériences des nos 54 et suivants, n'exiger qu'une largeur de bande de 0m,06. Avec ces proportions, qui s'éloignent fort peu de celles qui sont en usage, ces véhicules pourront porter des chargements de 1800 kilogrammes dans la mauvaise saison, et de 2000 à 2200 kilogrammes dans la belle saison, sans occasionner aux routes de dégradations notables. Leurs chargements étant forcément renfermés dans les limites supérieures que nous venons d'indiquer par la condition de n'atteler qu'un seul cheval, on pourrait dispenser ces voitures du pesage.

95. *Nécessité de limiter les chargements.* — Quelques ingénieurs, confiants dans les méthodes perfectionnées d'entretien qu'ils ont employées avec succès dans plusieurs départements, seraient assez portés à laisser à l'industrie des transports une latitude absolue. Mais s'il est vrai que l'art de l'entretien des routes ait fait des progrès très notables, et ait obtenu d'heureux résultats,

il faut aussi reconnaître que les soins et la surveillance continuelle que ces méthodes exigent nécessitent un personnel nombreux, bien exercé et très dispendieux, et qu'actuellement il s'en faut de beaucoup que toutes nos routes soient à l'état où ces progrès pourraient les amener; et comme il est fort douteux que les Chambres allouent au budget des ponts et chaussées les fonds nécessaires pour mettre partout ces méthodes en usage dans tous leurs détails, il faut encore imposer à l'industrie des transports quelques restrictions.

96. *Limitation des chargements par le nombre des chevaux.* — Si l'on ne considérait que l'intérêt général du pays sous le point de vue de l'avenir de l'industrie et de l'agriculture, et sous celui de la défense, il est à peu près incontestable que la limitation des chargements par le nombre des chevaux serait le mode le plus sûr et le plus facile à suivre, et qu'il aurait pour avantage important d'amener nécessairement l'amélioration de la race de nos chevaux de trait d'une manière plus prompte et plus efficace que tous les encouragements accordés par l'état. Mais ce mode, que l'on peut désirer de voir quelque jour introduit dans la législation, créerait actuellement et pour longtemps un privilége en faveur des grandes entreprises de roulage, au préjudice des petites, et surtout à celui des agriculteurs. On ne peut donc songer à l'adopter comme base exclusive des tarifs de chargement.

Il ne faut pas toutefois s'exagérer l'importance de l'objection précédente, relative au monopole dont nous venons de parler, car elle perd notablement de sa gravité si l'on examine quelle est en définitive l'augmentation de profits que procure l'emploi des chevaux de première force. Ils coûtent ordinairement 1000 à 1200 fr. et mangent 18 à 22 kilogrammes d'avoine par jour, tandis que le cheval de force moyenne coûte 5 à 600 fr. et ne mange que 10 à 12 kilogrammes d'avoine. Certaines espèces, comme celle des chevaux lorrains, qui sont grêles et peu membrés, se nourrissent encore à moins de frais, et transportent cependant des fardeaux à peu près égaux à ceux qui sont indiqués, au tableau nº 72 et suivants, comme traînés par des chevaux de force moyenne. La dépense journalière et les chances de perte compensent donc une partie des avantages que procure la supériorité des moyens. Quant aux transports exécutés par les agriculteurs, ils se font ordinairement dans la saison morte, souvent à de petites distances, et ce n'est qu'une industrie temporaire, qu'ils exercent alors plus économiquement que les rouliers de profession.

Il est si vrai qu'il n'y a pas, sous le rapport commercial, un avantage aussi notable qu'on serait tenté de le croire à employer de très forts chevaux, que beaucoup de grands services de roulage sont montés avec des chevaux de force moyenne ou inférieure, et présentent peut-être plus de bénéfices que ceux où l'on se sert exclusivement de chevaux de première force. Il se fait entre la dé-

pense pour frais de nourriture et celle de remplacement des chevaux perdus ou ruinés des compensations qui, dans certaines circonstances, peuvent faire donner la préférence aux petits chevaux. A ce sujet, je crois devoir citer un fait assez remarquable qui m'a été fourni par l'un des hommes qui s'occupent avec le plus de méthode et d'esprit d'observation de l'industrie du roulage. Pour monter un service accéléré sur une portion de la route de Tours à Bordeaux, sur une étendue de 152 kilomètres partagée en quatre relais de 38 kilomètres chacun, la base principale du marché fait avec les relayeurs était qu'on leur allouerait par relais, pour la nourriture des chevaux, 60 litres ou 54 kilogrammes d'avoine et 18 kilogrammes de foin, le son et la paille à discrétion. On estimait qu'on pourrait combiner les relais des quatre manières suivantes :

1° Deux chevaux de 1000 à 1200 fr.;

2° Trois chevaux de 600 fr.;

3° Quatre chevaux, dont deux de timon à 500 fr., et deux de volée à 350 fr.;

4° Cinq chevaux, dont deux de timon à 500 fr., et trois de volée de 200 à 250 fr.

Le chargement total était de 4400 kilogrammes, véhicule compris, avec des roues de $0^{m},82$ et $1^{m},30$ de diamètre.

J'ignore si la première combinaison fut employée; mais, les trois autres l'ayant été, le service fut fort bien fait par l'attelage à cinq chevaux.

Une semblable répartition d'une même quantité de nourriture entre plus ou moins de chevaux, pour un même travail, revient à admettre que le travail mécanique développé par les moteurs animés varie avec la nourriture, comme celui des machines à vapeur d'un système donné avec la quantité de charbon brûlé. Mais s'il y a quelque chose de vrai dans cette assimilation, elle ne saurait être néanmoins admise qu'avec réserve et dans des limites assez restreintes, et je pense que dans l'exemple cité les deux chevaux du premier attelage auraient été surchargés.

De l'ensemble de ces observations il résulte au moins cette conséquence, que la limitation des chargements par le nombre des chevaux serait un obstacle aux combinaisons que l'industrie peut faire pour la composition de ses attelages, et qu'elle lui serait plus nuisible que favorable.

TROISIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES COMPARATIVES FAITES EN 1841 POUR DÉTERMINER LES CHARGEMENTS QUE L'ON PEUT FAIRE PORTER AUX VOITURES, SELON LES DIMENSIONS DE LEURS ROUES, POUR QU'ELLES PRODUISENT D'ÉGALES DÉGRADATIONS SUR LES ROUTES EN EMPIERREMENT.

1. *But de ces expériences.* — Les conclusions qui résument la discussion des expériences de 1839 m'avaient conduit à proposer des tarifs de chargements pour les voitures à quatre et à deux roues. Mais ces tarifs, fondés sur l'ensemble des résultats obtenus plutôt que sur des observations comparatives directes, ayant paru trop éloignés des bases et des chiffres admis jusqu'à ce jour, le conseil des Ponts-et-Chaussées a demandé que quelques nouvelles séries d'expériences fussent exécutées dans la vue spéciale de déterminer directement, si ce n'est tous les chargements, du moins ceux des voitures de chaque classe qui forment les extrémités des séries de dimensions admises ou à admettre en circulation.

La question générale consistait donc à déterminer, pour les différents genres de véhicules, les chargements qui, pour le transport d'un même poids total, produiraient sur les routes en empierrement les mêmes dégradations, et que je nommerai par la suite, pour plus de simplicité, *chargements d'égales dégradations*.

2. *Programme adopté pour les expériences.* — La solution se subdivisait en deux séries principales de recherches, l'une relative aux voitures à quatre roues ou chariots, l'autre aux voitures à deux roues ou charrettes. Pour l'une comme pour l'autre, nous avons admis, conformément aux conclusions des expériences de 1839, 1°. que la largeur maximum exigée pour les jantes serait de $0^m,12$, et que la largeur minimum serait de $0^m,07$, sauf à statuer particulièrement sur les voitures dites *Comtoises* à un cheval; 2°. que le diamètre minimum des roues de devant des voitures à quatre roues serait fixé à $1^m,00$, celui des roues de derrière à $1^m,65$, et celui des voitures à deux roues à $1^m,65$; sauf à accorder, s'il y avait lieu, des tolérances que, d'ailleurs, il serait facile de faire cadrer

avec les tarifs admis; 3°. qu'il fallait tendre, par l'exhaussement des tarifs, à propager l'emploi des grandes roues, et comprendre, dans les recherches et dans les tarifs, des voitures à quatre roues ayant des diamètres de $1^{m},30$ sur le devant, et $2^{m},00$ sur le derrière, et des charrettes à roues de $2^{m},00$; ces dimensions dont l'adoption n'a rien d'impraticable, étant d'ailleurs regardées comme des limites supérieures, que l'on ne peut guère franchir, dans la construction des voitures ordinaires.

De là résultaient quatre séries principales d'expériences à exécuter.

1°. Étant donné, d'après les usages et les besoins du commerce, le chargement maximum des voitures à quatre roues de $0^{m},12$ de largeur sur $1^{m},00$ de diamètre à l'avant-train et $1^{m},65$ au train de derrière, déterminer le chargement d'égales dégradations pour les chariots à roues de $0^{m},07$ sur quatre roues des mêmes diamètres que ci-dessus.

2°. Étant donné de même le chargement des charrettes à roues de $0^{m},12$ de largeur et de $1^{m},65$ de diamètre, déterminer le chargement d'égales dégradations pour les charrettes à roues de $0^{m},07$ de largeur de bande sur $1^{m},65$ de diamètre.

3°. Le chargement des chariots à quatre roues, de $0^{m},07$ de largeur de bande, sur des roues de $1^{m},00$ et $1^{m},65$ de diamètre, étant déterminé par les expériences précédentes, rechercher le chargement d'égales dégradations pour les chariots à roues de $0^{m},70$ de largeur sur $1^{m},30$ de diamètre à l'avant-train, et $2^{m},00$ au train de derrière.

4°. Le chargement des charrettes à deux roues, de $0^{m},07$ de largeur de bande et de $1^{m},65$ de diamètre, étant déterminé par les expériences précédentes, rechercher le chargement d'égales dégradations pour les charrettes à roues de $0^{m},07$ de largeur sur $2^{m},00$ de diamètre.

Plus tard, à ces quatre séries principales on en a ajouté deux autres relatives aux voitures à six roues, et ayant pour objet de s'assurer, 1°. si, étant donné le chargement des chariots de roulage ordinaire, à quatre roues, allant au pas, on peut accorder un chargement de moitié en sus aux chariots à six roues et à trains suspendus, allant au pas, selon que les six roues sont de même diamètre, ou que les deux roues du milieu sont plus grandes que les autres; 2°. si, étant donné le chargement des chariots de roulage accéléré à quatre roues, suspendus et allant au trot, on peut accorder aux chariots à six roues suspendus et allant aussi au trot, un chargement supérieur de la moitié.

3. *Mode d'expérimentation.* — Le mode d'expérimentation suivi pour l'exécution des expériences a été le même que par le passé. On a choisi

pour emplacement les routes en empierrement de cailloux siliceux, voisines de Courbevoie. Des portions de route, de même longueur et toujours de plus de 120^m, choisies à un état d'entretien aussi égal que possible, ont été affectées à chacune des voitures dont on voulait comparer les effets destructeurs, et continuellement arrosées pour les maintenir au même degré d'humidité. L'arrosage a toujours été tellement abondant que les routes et les ornières étaient constamment couvertes d'eau et de boue liquide, et, par conséquent, à un état d'humidité égal à celui qui pourrait résulter de pluies continuelles.

Le chargement de l'une des voitures à comparer étant donné, soit *à priori*, soit par l'expérience précédente, on a comparé les effets de cette voiture avec ceux de deux autres véhicules des dimensions fixées, dont on a chargé l'un d'un poids que l'on croyait trop fort, et l'autre d'un poids que l'on regardait comme trop faible, dans l'espérance que le chargement véritable, déduit de l'expérience, serait intermédiaire entre ceux qu'on aurait essayés.

Des profils de l'état de la route, avant et après l'exécution des expériences, ont été relevés avec soin; l'état des pistes a été signalé et examiné; l'intensité du tirage a été mesurée avec le dynamomètre à compteur. Mais à ces moyens d'observation j'ai jugé indispensable de joindre, ainsi que je l'avais fait avec succès dans la dernière série des expériences de 1839, et que je regrette de ne l'avoir pas toujours fait, la mesure exacte de la quantité de matériaux employés à la réparation des dégradations produites.

Cette mesure m'a paru d'autant plus nécessaire, dans ces recherches nouvelles, que, d'une part, le but que l'on espérait atteindre étant de trouver les chargements d'égales dégradations pour chaque cas, on devait s'attendre à avoir, parfois, de très-faibles différences dans l'intensité du tirage, et que, d'un autre côté, dans les expériences relatives aux jantes de 0^m,12 et de 0^m,07, la dégradation de la route n'avait pas uniquement pour effet d'accroître le tirage, mais encore de produire des ornières de largeurs différentes, dont le fond pourrait présenter peu de différence pour la traction, quoique le volume des matériaux désagrégés, ou du vide formé, fût beaucoup plus considérable dans un cas que dans l'autre.

Cette réparation des ornières a, d'ailleurs, été exécutée dans tous les cas avec soin, sous ma surveillance et sous la conduite de mon régisseur. A cet effet, on enlevait, avec le racloir, toute la boue et les matières

molles qui remplissaient l'ornière et couvraient les bords, de manière à mettre à nu le vide réellement formé, ou correspondant à la masse totale des matériaux désagrégés. On relevait de suite les profils transversaux, puis on remplissait l'ornière avec des cailloux, en ayant soin que la surface du remblai affleurât également le sol dans tous les profils, et l'on tenait note du cube de cailloux employés.

C'est à l'aide de ces moyens d'observation que je crois être parvenu à déterminer, avec une exactitude suffisante pour la pratique, les chargements d'égale dégradation pour les voitures employées. Je passe à l'exposition détaillée de chaque série d'expériences et de ses résultats.

4. *Expériences entreprises pour déterminer les chargements d'égales dégradations des chariots, par rapport aux largeurs de jantes de* $0^m,12$ *et de* $0^m,07$. — On a choisi pour l'exécution de ces expériences trois portions de la route départementale n° 8, allant de Courbevoie à Bezons, ayant chacune une longueur de 150 mètres, en bon état d'entretien, sans ornières apparentes, et n'offrant que quelques flaches légères.

Les chariots employés avaient tous les trois des roues de $1^m,00$ à l'avant-train, et de $1^m,68$ au train de derrière.

L'un, qui avait des jantes de $0^m,12$, a été chargé de 7 222 kil., véhicule compris, et conduit sur la première piste, située à 230^m au delà du viaduc du chemin de Versailles. Les deux autres avaient tous deux des jantes de $0^m,07$, et ont été chargés l'un de 4 000 kil., l'autre de 3 496 kil., et conduits, celui qui pesait 3 496 kil., sur la seconde piste, commençant à 50^m au delà de la première, et celui qui pesait 4 000 kil. sur la troisième piste, commençant à 50^m de la seconde.

Ces trois pistes ont été parcourues au pas et arrosées matin et soir, de manière à les entretenir constamment mouillées et boueuses, sans jamais enlever aucune partie des détritus et sans y faire aucune réparation.

Les expériences ont été commencées le 22 avril. On a fait le 12 et le 18 mai des observations pour déterminer l'intensité du tirage sur chacune des pistes et sur la route à son état primitif. Les résultats de ces expériences sont consignées dans le tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITESSE DU TRANSPORT
Chariot à quatre roues de $0^m,995$ de diamètre à l'avant-train et $1^m,641$ au train de derrière sur des jantes de $0^m,07$ de largeur, non suspendu, chargé de 3 496 kil.	Partie libre de la route, sèche, couverte de poussière..........	»	kil. »	Aller........	m. 1,56
				Retour.......	1,41
				Aller........	1,34
				Retour.......	1,37
				Aller........	1,46
				Retour.......	1,52
				Aller........	1,49
				Retour.......	1,43
	Piste du chariot chargé de 7 222 k., ornières remplies de boue molle et d'eau............	748	5 403 000	Aller........	1,20
				Retour.......	1,26
				Aller........	1,15
				Retour.......	1,23
				Aller........	1,11
				Retour.......	1,20
	Piste du chariot chargé de 4 000 k., ornières remplies de boue molle et d'eau............	1 308	5 232 000	Aller........	1,19
				Retour.......	1,13
				Aller........	1,22
				Retour.......	1,09
				Aller........	1,13
				Retour.......	1,04
	Piste du chariot chargé de 3 496 k., ornières remplies de boue molle et d'eau...........	1 490	5 209 000	Aller........	1,25
				Retour.......	1,06
				Aller........	1,23
				Retour.......	1,06
				Aller........	1,21
				Retour.......	1,02

ÈRIE.

ISTANCE RCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS. FORMULE EMPLOYÉE.
m.	54,8 44,7	49,8	k. 90,2	$\frac{1}{38,9}$	F E = 181,05 N. Dans ces expériences du 12 mai, les boites de roues du chariot chargé de 3 496 kil., qui y était employé, ont été trouvées passablement graissées, et le rapport du frottement à la pression égale $0^{m},10$.
100	52,2 47,0	49,6	89,8	$\frac{1}{39,0}$	
	54,2 46,7	50,4	91,2	$\frac{1}{38,4}$	
	52 5 46,7	49,6	89,8	$\frac{1}{39,0}$	
	Moyenne......		90,2	$\frac{1}{38,8}$	
150	110,0 150,0	130,0	156,9	$\frac{1}{22,3}$	
	115,0 139,5	127,2	153,5	$\frac{1}{22,8}$	
	131,0 140,0	135,5	163,5	$\frac{1}{21,4}$	
	Moyenne.......		158,0	$\frac{1}{22,2}$	
150	140,8 150,0	145,4	175,5	$\frac{1}{19,9}$	
	138,7 152,8	145,7	175,8	$\frac{1}{19,9}$	
	137,5 145,9	141,7	171,0	$\frac{1}{20,5}$	
	Moyenne.....		174,1	$\frac{1}{20,1}$	
150	118,9 147,0	132,9	160,4	$\frac{1}{21,8}$	
	114,6 149,6	132,1	159,5	$\frac{1}{21,9}$	
	109,4 143,4	141,7	171,0	$\frac{1}{20,5}$	
	Moyenne......		163,6	$\frac{1}{21,4}$	

EXPÉRIENCES *sur les chargements d'égales dégradations des chariots* [...]
des [...]

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.
Chariot à quatre roues de 0m,995 de diamètre à l'avant-train, et 1m,641 au train de derrière sur des jantes de 0m,07 de largeur, non suspendu, chargé de 3 496 kil.	Partie libre de la route légèrement balayée, sèche, en bon état..	»	kil. »	Aller........
				Retour......
				Aller......
				Retour......
	Piste du chariot chargé de 7 222 kil., ornières remplies d'eau et de boue très-liquide...	880	6 356 000	Aller........
				Retour......
				Aller........
				Retour......
				Aller......
				Retour......
	Piste du chariot chargé de 4 000 kil., ornières remplies d'eau et de boue liquide.......	1 589	6 356 000	Aller ....
				Retour ......
				Aller........
				Retour......
				Aller........
				Retour......
	Piste du chariot chargé de 3 496 kil, ornières remplies d'eau et de boue liquide.......	1 675	6 356 000	Aller........
				Retour......
				Aller... ....
				Retour......
				Aller........
				Retour......

DISTANCE PARCOURUE. E.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.	RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE À LA CHARGE.	DIMENSIONS. FORMULE EMPLOYÉE.
m.		kil.		
100	47,2 / 41,0 } 44,1	79,8	$\frac{1}{43,8}$	Les boîtes des roues avaient été bien graissées avant les expériences.
	48,7 / 41,9 } 45,3	82,0	$\frac{1}{42,7}$	
	Moyenne.....	80,9	$\frac{1}{43,3}$	
150	98,5 / 128,4 } 113,5	187,0	$\frac{1}{25,5}$	Dans les expériences où l'on n'a pas observé la vitesse de transport, l'allure était celle du pas assez lent, et sensiblement le même que dans celle où cette vitesse a été observée.
	100,8 / 125,6 } 113,2	136,6	$\frac{1}{25,6}$	
	90,0 / 122,0 } 106,0	127,9	$\frac{1}{27,4}$	
	Moyenne.......	134,0	$\frac{1}{26,2}$	
150	124,0 / 143,0 } 133,5	161,1	$\frac{1}{21,7}$	
	121,6 / 142,0 } 131,8	159,1	$\frac{1}{22}$	
	131,8 / 153,0 } 142,4	171,8	$\frac{1}{20,4}$	
	Moyenne......	164,0	$\frac{1}{21,4}$	
150	126,9 / 156,0 } 141,4	170,1	$\frac{1}{20,5}$	
	121,0 / 142,5 } 131,7	158,9	$\frac{1}{22}$	
	118,0 / 150,0 } 184,0	161,7	$\frac{1}{21,7}$	
	Moyenne......	163,8	$\frac{1}{21,4}$	

5. *Résultats et conséquences.* — Après l'exécution de ces expériences, on a fait enlever la boue et les détritus produits; on a mesuré des profils transversaux et on a fait ensuite remblayer les ornières en veillant avec soin à ce que les cailloux affleurassent également le sol et en tenant note de la quantité de matériaux employés à cette réparation; on a trouvé qu'il avait fallu :

Sur la piste du chariot à roues de $0^m,12$ chargé de	7 222 kil.	mc. 9,50
	$0^m,07$	4 000	9,60
	$0^m,07$	3 496	9,70

Le résultat de cette comparaison indiquant une égale dégradation produite par les deux chariots à roues de $0^m,07$, malgré la différence des chargements, il a paru probable que quelque différence accidentelle dans l'état de la route avait pu occasionner cette égalité extraordinaire, et l'on a jugé nécessaire de répéter cette série d'expériences avec les mêmes voitures.

A cet effet, elles ont été chargées ainsi qu'il suit :

Voiture à roues de $0^m,12$ de largeur de bande.... 7 000 kil.
Une voiture à roues de $0^m,07$.................. 4 000 kil.
La seconde voiture à roues de $0^m,07$.......... 3 500 kil.

L'expérience a eu lieu sur la même route à partir du 21 juillet, longtemps après que, par la fréquentation, les traces des dégradations produites en mai avaient disparu. On a choisi d'ailleurs des emplacements un peu différents et l'on a eu soin de passer à côté des anciennes ornières; les trois pistes étaient dans état aussi uniforme que possible. Néanmoins, la piste de la voiture à roues de $0^m,12$ paraissait un peu plus ferme que celle des autres. Cette différence, quoique très-faible étant d'ailleurs en faveur des jantes les plus larges, il a paru prudent de laisser de préférence cette voiture sur cette piste, afin de ne pas être exposé à accorder des chargements trop forts aux jantes étroites.

La série d'expériences a été terminée le 7 août, et l'on a fait ce jour, sur l'intensité du tirage, les observations qui sont consignées au tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SE… DE MOUVEM…
Chariot à quatre roues de 0m,995 de diamètre à l'avant-train, et de 1m,641 au train de derrière, sur des jantes de 0m,07 de largeur, non suspendu, chargé de 3 500 kil.	Piste du chariot chargé de 7 000 kil., ornières remplies d'eau et de boue liquide.	734	5 133 000	Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
	Piste de chariot chargé de 4 000 kil., ornières remplies d'eau et de boue liquide.	1 260	5 040 000	Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
	Piste du chariot chargé de 3 500 kil., ornières remplies d'eau et de boue liquide.	1 450	5 075 000	Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……
				Aller……
				Retour……

IE.

[T]ESSE DE [TRA]NSPORT.	DISTANCE PARCOURUE. E	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE À LA CHARGE.	
m.	m.			kil.		
[illegible],96	120	111,5	108,0	163,0	$\frac{1}{21,5}$	F E = 181,05 N.
[illegible],96		104,5				
[illegible],96		106,7	108,8	164,2	$\frac{1}{21,3}$	
[illegible],96		111,0				
[illegible],98		116,0	111,7	168,5	$\frac{1}{20,7}$	
[illegible],98		107,5				
1,04		112,5	113,7	171,5	$\frac{1}{20,4}$	
1,02		115,0				
		Moyenne.....		166,8	$\frac{1}{21,0}$	
0,80	90	85,0	101	203,2	$\frac{1}{17,2}$	
0,85		117,0				
0,78		84,5	100	201,1	$\frac{1}{17,4}$	
0,80		115,5				
0,76		84,0	103	207,2	$\frac{1}{16,9}$	
0,76		122,0				
0,87		89,0	102	205,2	$\frac{1}{17,1}$	
0,89		115,0				
		Moyenne.....		204,1	$\frac{1}{17,1}$	
1,00	120	109,0	119,2	180,0	$\frac{1}{19,4}$	
1,03		129,4				
1,06		106,2	115,6	174,4	$\frac{1}{20,1}$	
1,07		125,0				
0,98		106,5	116,7	176,1	$\frac{1}{19,9}$	
1,07		127,0				
1,06		105,0	115,3	174,1	$\frac{1}{20,1}$	
1,16		125,5				
		Moyenne.....		176,0	$\frac{1}{19,9}$	

6. *Résultats et conséquences.* — Les résultats consignés dans ce tableau montrent que le chariot chargé de 4000 kil. sur des jantes de $0^m,07$ avait produit un plus grand accroissement de tirage que les deux autres, après le transport d'un poids à peu près le même sur les trois pistes, et qu'il y avait à peu près égalité dans l'intensité du tirage sur les pistes des chariots à roues de $0^m,12$ et de $0^m,07$.

Après ces expériences, la boue et les détritus ayant été enlevés, on a relevé des profils transversaux des ornières, qui ont montré que celles de la voiture à roues de $0^m,12$ de largeur étaient sensiblement plus larges que celles de la voiture à roues de $0^m,07$ de bande.

Le remblayage des ornières ayant été exécuté avec les soins indiqués, on a trouvé que les quantités de matériaux employés étaient les suivantes :

Piste du chariot à roues de m. 0,12, chargé de	7 000 kil.	mc. 14,7
Piste du chariot à roues de 0,07,	4 000	20,4
Piste du chariot à roues de 0,07,	3 500	11,8

On remarquera que les quantités de matériaux employés à la réparation ont été beaucoup plus considérables dans cette série après le transport de 5 000 000 kil. environ que dans la première, après celui de 6 356 000 kil. Cela tient à ce que la première série a été exécutée à la fin d'avril et en mai, par un temps très-sec et très-chaud, avec des moyens d'arrosage moins complets que la seconde, exécutée en juillet et août, qui ont été des mois pluvieux.

En réunissant, pour en faciliter l'examen, les résultats des expériences sur le tirage du chariot à quatre roues de $1^m,00$ à $1^m,65$ de diamètre, sur $0^m,07$ de largeur de bande, chargé de 3 500 kil. sur chacune des trois pistes, et ceux du remblayage après un transport d'un peu plus de 5 000 000 de kil., on a le résumé suivant :

DÉSIGNATION DES PISTES ET VOITURES COMPARÉES.	RAPPORT DU TIRAGE A LA CHARGE.	MATÉRIAUX EMPLOYÉS à la réparation.
Piste du chariot à roues de $0^m,12$ chargé de 7000 kil.	$\frac{1}{21}$	mc. 14,7
Piste du chariot à roues de $0^m,07$ —— 4000 kil.	$\frac{1}{17,1}$	20,4
Piste du chariot à roues de $0^m,07$ —— 3500 kil.	$\frac{1}{19,9}$	11,8

Ces chiffres montrent que le volume de l'ornière formée ou le cube des matériaux broyés et déplacés a été beaucoup plus grand pour le chariot à jantes de $0^m,07$ chargé de 4 000 kil., que pour les deux autres, et sensiblement moindre pour le chariot à roues de $0^m,07$ chargé de 3 500 kil., que pour le chariot à roues de $0^m,12$ chargé de 7 000 kil.

Il suit de là que, quoique le tirage ait été à peu près le même sur les pistes de ces deux dernières voitures et même un peu moindre sur celle de la voiture à roues de $0^m,12$, la largeur et le volume de l'ornière formée par cette voiture étant sensiblement plus grands que ceux de la voiture à roues de $0^m,07$ chargée de 3 500 kil., la dégradation matérielle produite sur la route a été moindre avec la voiture chargée de 3 500 kil., qu'avec celle qui pesait 7 000 kil.

Nous sommes donc autorisé à conclure de cette seconde série d'expériences, que si sur des chariots à roues de $1^m,00$ à l'avant-train et $1^m,65$ au train de derrière, on accorde un chargement total de 7 000 kil. à ceux qui ont des jantes de $0^m,12$, le chargement de ceux qui ont des roues de $0^m,07$ de largeur devra être moindre que 4 000 kil. et pourra excéder un peu 3 500 kil.

D'après cela, on pourrait prendre pour base de l'établissement des tarifs de chargements des chariots à roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ les poids de 7 000 kil. et 3 700 kil. correspondant respectivement aux jantes de $0^m,12$ et $0^m,07$, ou des poids qui seraient dans le même rapport que ces deux nombres. Il faut en effet remarquer que le chargement de 7 000 kil. mis en expérience sur des roues de $0^m,12$ de largeur, était pris arbitrairement, et qu'on aurait pu tout aussi bien, ainsi qu'on l'avait pensé d'abord, limiter le chargement de ce chariot à 6 000 kil., auquel correspondrait pour le chariot à roues de $0^m,07$ de largeur le chargement de 3 170 kil. déterminé par la proportion :

$$7\,000 : 3\,700 :: 6\,000 : 3\,170.$$

Je reviendrai plus tard sur la comparaison de ces deux limites, l'une supérieure, l'autre inférieure, des tarifs, et je continue l'exposition des résultats des expériences.

7. *Chargements d'égales dégradations des charrettes en fonction de la largeur des jantes.* — Après avoir cherché les chargements d'égales dégradations convenables pour les chariots, on a fait des expériences analogues sur des charrettes à roues de $1^m,65$ de diamètre, avec des largeurs de

jantes de $0^m,12$ et de $0^m,07$. A cet effet, une charrette montée sur des roues à jantes de $0^m,12$ et du diamètre de $1^m,65$ a été chargée de 3 520 kil., véhicule compris; une autre à roues de $0^m,07$ de largeur de jante et même diamètre, a été chargée de 2 325 kil.; enfin une troisième voiture semblable à la seconde a été mise au poids de 1 798 kil.

Sur la route départementale n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, en empierrement de cailloux siliceux, on a choisi trois pistes de 150 mètres de longueur chacune, en bon état d'entretien, sans frayé et aussi exactement semblables que possible. La première piste, en venant de Courbevoie a été assignée à la charrette à roues de $0^m,07$, chargée de 1 798 kil.; la seconde à la charrette à roues de $0^m,12$ chargée de 3 520 kil. et la troisième à la charrette à roues de $0^m,07$ chargée de 2 325 kil.

Ces voitures ont circulé sur les pistes à partir du 20 mai jusqu'au 8 juin. Ces pistes ont été arrosées de manière à verser sur chacune 5 à 600 litres d'eau pour les deux séances de travail, ce qui, malgré la chaleur, suffisait pour les entretenir constamment mouillées et couvertes de boue

L'observation de l'état des pistes après le transport d'environ 4 571 000 kil., a montré que les ornières de la voiture à roues de $0^m,12$ avaient moyennement $0^m,23$ à $0^m,24$ de largeur; que celles de la charrette à roues de $0^m,07$ chargée de 1 798 kil. avaient $0^m,14$ à $0^m,15$, ainsi que celles de la charrette à roues de $0^m,07$ chargée de 2 300 kil.

Des expériences sur l'intensité du tirage ont été exécutées à différentes époques après le transport de poids totaux égaux, avec le chariot à roues de $1^m,00$ à $1^m,65$ de diamètre et $0^m,07$ de largeur de bande chargé de de 3 500 kil. et avec la charrette à roues de $1^m,64$ de diamètre sur $0^m,07$ de largeur de bande chargée de 2 300 kil. Ces deux voitures, ainsi que les autres, avaient la même voie. Les résultats de ces expériences sont consignés dans le tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITE… DE TRANS…
			kil.		m
Chariot à 4 roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre sur 0m,07 de largeur de bande pesant 3 500 kil.	Route de Colombes, partie libre de la route en bon état, couverte d'un peu de poussière et de quelques débris.	»	»	Aller........	1,1[illegible]
				Retour......	1,08
				Aller........	1,09
				Retour......	1,11
				Aller........	1,10
				Retour......	1,09
	Piste de la charrette chargée de 3 520 kil., ornières remplies de boue liquide.	940	3 308 300	Aller........	1,14
				Retour......	1,15
				Aller........	1,09
				Retour......	1,10
				Aller........	1,06
				Retour......	1,06
	Piste de la charrette chargée de 2 325 kil., ornières remplies de boue liquide.	1,478	3 436 350	Aller........	0,97
				Retour......	1,10
				Aller........	1,03
				Retour......	1,02
				Aller........	1,01
				Retour......	1,09
	Piste de la charrette chargée de 1 798 kil., ornières remplies de boue liquide.	1,888	3 394 624	Aller........	1,15
				Retour......	1,20
				Aller........	1,11
				Retour......	1,07
				Aller.......	1,04
				Retour......	1,05

…ISTANCE …RCOURUE. E.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	
m.			kil.		
150	99,5 / 100,0	99,7	120,3	$\frac{1}{29,1}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE. =180,05 N.
	100,0 / 105,2	102,6	123,8	$\frac{1}{28,2}$	
	101,0 / 105,2	103,1	124,4	$\frac{1}{28,1}$	
	Moyenne...........		122,8	$\frac{1}{28,5}$	
150	147,6 / 160,1	153,8	185,6	$\frac{1}{18,9}$	
	140,5 / 152,0	146,2	176,5	$\frac{1}{19,8}$	
	134,5 / 146,5	140,5	169,6	$\frac{1}{20,6}$	
	Moyenne..........		177,3	$\frac{1}{19,8}$	
150	152,5 / 164,0	158,2	190,9	$\frac{1}{18,4}$	
	147,0 / 154,8	150,9	182,1	$\frac{1}{19,3}$	
	139,7 / 158,0	148,8	179,6	$\frac{1}{19,5}$	
	Moyenne...........		184,2	$\frac{1}{19,1}$	
150	150,0 / 130,5	140,2	169,2	$\frac{1}{20,7}$	
	145,3 / 128,7	137,0	165,4	$\frac{1}{21,2}$	
	140,0 / 132,0	136,0	164,2	$\frac{1}{21,3}$	
	Moyenne..........		166,2	$\frac{1}{21,1}$	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITESSE DE TRANSP.
			kil.		m.
Chariot à 4 roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ de diamètre sur $0^m,07$ de largeur de jante pesant 3 500 kil.	Piste de la charrette chargée de 3 520 kil., ornières remplies de boue liquide.	996	3 505 920	Aller........	»
				Retour......	1,09
				Aller........	0,95
				Retour......	»
				Aller........	0,96
				Retour......	»
	Piste de la charrette chargée de 2 325 kil., ornières remplies de boue liquide.	1 604	3 729 300	Aller........	0,92
				Retour......	0,85
				Aller........	0,93
				Retour......	0,90
				Aller........	0,83
				Retour......	0,79
	Piste de la charrette chargée de 1 798 kil., ornières remplies de boue liquide.	2 040	3 667 920	Aller........	1,07
				Retour......	0,97
				Aller........	»
				Retour......	0,95
				Aller........	0,92
				Retour......	0,94
	Piste de la charrette chargée de 3 520 kil., ornières remplies de boue liquide.	1 300	4 571 000	Aller........	0,95
				Retour......	0,98
				Aller........	0,96
				Retour......	0,90
				Aller........	0,94
				Retour......	0,98
	Piste de la charrette chargée de 2 325 kil., ornières remplies de boue liquide.	1 970	4 571 000	Aller........	0,91
				Retour.....	0,94
				Aller........	0,91
				Retour......	0,96
				Aller........	0,93
				Retour......	0,96

ISTANCE RCOURUE. E.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE À LA CHARGE.	
m.			kil.		
150	64,7 68,2	66,5	186,6	1/18,8	Dynamomètre de 750 kil. FE.= 420,77 N.
	58,3 68,0	63,15	177,1	1/19,8	
	53,5 68,5	66,0	185,1	1/18,9	
	Moyenne		182,9	1/9,2	
150	60,3 68,7	64,5	180,9	1/19,4	
	55,7 61,0	58,3	163,5	1/21,4	
	53,7 61,5	57,6	161,6	1/21,6	
	Moyenne		168,6	1/20,8	
150	59,5 52,0	55,7	156,2	1/22,4	
	52,5 52,1	52,3	146,7	1/23,8	
	55,5 47,0	51,2	143,6	1/24,4	
	Moyenne		148,8	1/23,6	
150	161,0 158,5	159,7	192,7	1/18,2	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE.= 181,05 N.
	142,0 150,8	146,4	176,7	1/19,8	
	136,0 148,5	142,2	171,6	3/20,4	
	Moyenne		180,3	1/19,5	
140	146,5 153,5	150,0	181,0	1/19,4	
	137,0 156,0	146,0	176,2	1/19,9	
	141,0 150,0	145,5	175,6	1/20,0	
	Moyenne		177,6	1/19,8	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITESS DE TRANSP
					m.
Chariot à 4 roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre et 0m,07 de largeur de jantes pesant 3 500 kil.	Piste de la charrette chargée de 1 796 kil., ornières remplies de boue liquide.	2 545	4 571 000	Aller........	0,96
				Retour....	0,94
				Aller........	0,96
				Retour......	0,94
				Aller........	0,95
				Retour......	0,94
Charrette à roues de 1m,64 de diamètre et 0m,07 de largeur de jantes, pesant 2 355 kil.	Piste de la charrette chargée de 3 580 kil., ornières remplies de boue liquide.	1 300	4 571 000	Aller........	0,96
				Retour......	0,95
				Aller........	0,95
				Retour......	0,99
				Aller.......	0,95
				Retour......	0,99
	Piste de la charrette chargée de 3 325 kil., ornières remplies de boue liquide.	1 970	4 571 000	Aller........	0,89
				Retour......	0,84
				Aller.......	0,94
				Retour......	0,85
				Aller........	0,88
				Retour......	0,93
	Piste de la charrette chargée de 1 796 kil., ornières nettoyées, fond humide et un peu désagrégé.	1 545	4 571 000	Aller........	0,99
				Retour....	1,00
				Aller........	0,98
				Retour......	0 94
				Aller........	0,92
				Retour......	1,01

…ISTANCE …RCOURUE. E.	NOMBRE DE ROUES DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	
m.			kil.		
150	149,0 133,0	141,0	170,2	$\frac{1}{20,6}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE = 181,05 N.
	148,8 131,4	140,2	169,2	$\frac{1}{20,7}$	
	141,3 154,7	148,0	178,6	$\frac{1}{19,6}$	
	Moyenne.		172,6	$\frac{1}{20,3}$	
150	83,0 90,2	26,6	115,7	$\frac{1}{20,1}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE. = 200,48 N.
	79,0 91,5	85,2	113,8	$\frac{1}{20,4}$	
	82,0 92,0	87,0	116,3	$\frac{1}{20,0}$	
	Moyenne.		115,2	$\frac{1}{20,2}$	
150	99,0 101,0	10,0	133,6	$\frac{1}{17,4}$	
	94,8 100,0	97,4	130,1	$\frac{1}{17,9}$	
	91,5 101,5	96,5	128,9	$\frac{1}{18,0}$	
	Moyenne.		130,8	$\frac{1}{17,7}$	
150	86,0 89,0	87,5	116,9	$\frac{1}{19,9}$	Lorsque l'expérience de tirage a été exécutée sur cette piste avec la charrette, la boue et les détritus avaient été enlevés. Le fond de l'ornière était humide et composé de matériaux un peu désagrégés, et qui offraient une résistance un peu plus grande. Ce qui empêche cette série d'expériences d'être comparable aux précédentes.
	92,0 88,0	90,0	120,3	$\frac{1}{19,3}$	
	95,0 86,0	90,5	121,9	$\frac{1}{19,2}$	
	Moyenne.		139,4	$\frac{1}{19,4}$	

8. *Résultats et conséquences.* — Après l'exécution de ces expériences, on a relevé des profils transversaux et l'on a remblayé les ornières en notant avec soin la quantité de matériaux employés à cette réparation, ainsi que le volume des détritus que l'on a rassemblés en tas; on a trouvé les volumes suivants :

Piste de la charrette à roues de $0^m,12$ chargée de	3 520 k.	matériaux employés	mc. 12,30	détritus.	mc. 6,14
Piste de la charrette à roues de $0^m,07$	2 325		12,80		6,35
Piste de la charrette à roues de $0^m,07$	1 796		11,10		5,74

On remarquera sans doute que le volume des détritus est beaucoup moindre que celui des matériaux employés. Cela tient en grande partie à ce que, les expériences étant faites dans l'été, les ornières seules étaient mouillées, tandis que le reste de la route était sec, et les accotements couverts de poussière, de sorte qu'une grande partie des matériaux déplacés et de la boue expulsée se solidifiaient et se répandaient sur l'accotement. Les détritus enlevés à la fin de l'expérience n'étaient que ceux qui restaient dans les ornières et sur leurs bords à ce moment. C'est pourquoi je regarde, dans le cas actuel, la mesure des détritus réunis comme un moyen de comparaison beaucoup moins exact que le remblayage, quoique en général les résultats des deux opérations conduisent aux mêmes conclusions.

En rassemblant, pour en faciliter l'examen, les résultats moyens des expériences sur le tirage et ceux du remblayage, on a le résumé suivant :

DESIGNATION DES PISTES ET VOITURES COMPARÉES.				RAPPORT DU TIRAGE A LA CHARGE, après le transport d'environ			MATÉRIAUX EMPLOYÉS.
	m.		kil.	3 400 000	3 600 000	4 571 000	mc.
Piste de la charrette à bandes de	0,12	Chargée de	3 520	$\frac{1}{19,8}$	$\frac{1}{19,2}$	$\frac{1}{19,5}$	12,30
	0,07		2 325	$\frac{1}{19,1}$	$\frac{1}{20,8}$	$\frac{1}{19,8}$	12,80
	0,07		1 798	$\frac{1}{21,1}$	$\frac{1}{23,6}$	$\frac{1}{20,3}$	11,10

Nota. Dans cette comparaison l'on n'a pas tenu compte du résultat des expériences sur l'intensité du tirage faites avec la charrette à raison de $1^m,65$, quoiqu'il soit peu différent de ceux qui ont été obtenus avec le chariot, parce que la circonstance accidentelle de l'enlèvement de la boue et des détritus sur la piste seule de la charrette chargée de 1 796 kil. empêchait ces expériences d'être comparables.

On voit que la charrette à roues de 1m,65 de diamètre et 0m,07 de largeur de jantes a produit un accroissement de tirage, et exigé pour la réparation un volume de matériaux moindre que les deux autres, dont les effets ont été à peu près égaux. Il en résulte donc que, si l'on permet un chargement de 3 500 kil. sur les charrettes à roues de 1m,65 de diamètre et à jantes de 0m,12, on pourra allouer un chargement de plus de 1 800 kil. et d'environ 2 000 kil. à celles qui auraient des roues de même diamètre et de 0m,07 de largeur de bandes.

J'ajouterai que la route sur laquelle cette série d'expériences a été exécutée, offrait une résistance aussi uniforme qu'on pouvait le désirer, et que la marche régulière des dégradations m'a donné beaucoup de confiance dans l'exactitude des résultats obtenus.

9. *Chargements d'égales dégradations en fonction des diamètres. Chariots à quatre roues.* — Pour déterminer expérimentalement les chargements d'égales dégradations en fonction des diamètres, on a pris pour terme de comparaison le chariot à quatre roues de 1m,00 de diamètre à l'avant-train et 1m,65 au train de derrière, et de 0m,07 de largeur de bandes qui avait servi aux précédentes expériences, et on l'a chargé de 3 500 kil., véhicule compris. Puis on a pris deux chariots à quatre roues de 1m,30 de diamètre à l'avant-train sur 2m,00 au train de derrière et 0m,07 de largeur de bandes, et l'on a chargé l'un de 4 500 kil., l'autre de 4 201 kil. Sur la route départementale n° 31, qui mène de la caserne de Courbevoie au rond-point de la Poste, on a choisi trois pistes de 120m de longueur chacune en bon état et aussi exactement semblables qu'on pouvait le désirer. On a, comme à l'ordinaire, arrosé ces pistes, de manière à les maintenir constamment mouillées et boueuses.

Ces expériences ont commencé le 28 juin et ont été terminées le 20 juillet, après le transport d'environ 4 780 000 kil. sur chaque piste.

Des expériences sur l'intensité du tirage ont été faites le 16 et le 20 juillet avec le chariot à quatre roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, chargé de 3 500 kil., et les résultats en sont consignés dans le tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITESSE DE TRANSP
			kil.		m.
Chariot à quatre roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, pesant 3 500 kil.	Piste du chariot à roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, chargé de 3 500 k.	1 198	4 193 000	Aller......	0,59
				Retour....	0,59
				Aller......	0,70
				Retour....	0,78
				Aller......	0,67
				Retour ...	0,90
				Aller......	0,71
				Retour....	0,81
	Piste du chariot à roues de 1m,30 et 2m,00 de diamètre, chargé de 4 201 k.	1 000	4 201 000	Aller......	0,81
				Retour....	0,96
				Aller......	0,98
				Retour....	»
				Aller......	0,98
				Retour....	1,01
				Aller......	»
				Retour....	0,94
	Piste du chariot à roues de 1m,30 et 2m,00 de diamètre, chargé de 4 500 k.	932	4 194 000	Aller......	0,73
				Retour....	0,87
				Aller......	0,73
				Retour....	0,96
				Aller......	0,67
				Retour....	1,01
				Aller......	0,73
				Retour....	1,00

ISTANCE ARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS. FORMULE EMPLOYÉE.
			k.		
90m	122,0 / 79,0	100,5	202,2	$\frac{1}{17,3}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. F E = 181,05 N. L'extrémité de la piste de ce chariot étant en pente un peu trop forte pour que le tirage y pût être mesuré exactement à la descente et pour que l'eau restât dans les ornières, on a été obligé de réduire sa longueur à 90 m.
	117,0 / 73,5	95,2	191,5	$\frac{1}{18,3}$	
	111,0 / 72,8	91,9	184,9	$\frac{1}{18,9}$	
	110,0 / 82,4	96,2	193,5	$\frac{1}{18,1}$	
	Moyennes.....		193,0	$\frac{1}{18,2}$	
120m	131,4 / 88,5	109,9	165,8	$\frac{1}{21,1}$	Sur cette route très-sèche, en bon état, le tirage du même chariot est d'environ $\frac{1}{43}$ de la charge.
	131,2 / 83,0	107,1	161,6	$\frac{1}{21,7}$	
	122,0 / 80,2	102,0	158,9	$\frac{1}{22,7}$	
	135,0 / 82,0	108,5	163,8	$\frac{1}{21,4}$	
	Moyennes.....		161,2	$\frac{1}{21,5}$	
120m	136,0 / 100,0	118,0	178,0	$\frac{1}{19,7}$	
	133,8 / 101,0	117,4	177,2	$\frac{1}{19,8}$	
	133,0 / 99,0	116,0	176,0	$\frac{1}{20,0}$	
	133,0 / 94,0	113,5	171,3	$\frac{1}{20,5}$	
	Moyennes.....		175,2	$\frac{1}{20}$	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	[illegible]
			kil.		m.
Chariot à quatre roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, pesant 3 500 kil.	Piste du chariot à roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, chargé de 3 500 k.	1 366	4 781 000	Aller......	1,09
				Retour....	1,20
				Aller......	1,02
				Retour....	1,14
				Aller......	1,07
				Retour....	1,14
				Aller......	1,00
				Retour....	1,14
	Piste du chariot à roues de 1m,30 et 2m,00 de diamètre, chargé de 4 201 k.	1 132	4 755 532	Aller......	1,10
				Retour....	1,26
				Aller......	1,11
				Retour....	1,21
				Aller......	0,90
				Retour....	1,11
				Aller......	0,96
				Retour....	1,09
	Piste du chariot à roues de 1m,30 et 3m,00 de diamètre, chargé de 4 500 k.	1 062	4 779 000	Aller......	1,04
				Retour....	1,13
				Aller......	0,98
				Retour....	0,98
				Aller......	1,00
				Retour....	0,97
				Aller......	0,96
				Retour....	0,95

…STANCE …RCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS. FORMULE EMPLOYÉE.
			k.		
90m	116,0 / 70,0	93,0	187,1	$\frac{1}{18,7}$	
	108,0 / 65,5	86,7	174,4	$\frac{1}{20,1}$	
	104,5 / 62,0	83,2	167,3	$\frac{1}{20,9}$	
	104,5 / 63,0	83,7	168,4	$\frac{1}{20,8}$	
	Moyennes......		169,2	$\frac{1}{20,1}$	
120m	137,5 / 91,0	114,2	172,3	$\frac{1}{20,3}$	
	124,0 / 79,5	101,7	153,4	$\frac{1}{22,8}$	
	124,0 / 79,5	101,7	153,4	$\frac{1}{22,8}$	
	119,0 / 81,0	100,0	150,9	$\frac{1}{23,2}$	
	Moyennes......		159,9	$\frac{1}{22,3}$	
120m	153,5 / 98,0	125,7	189,6	$\frac{1}{18,5}$	
	132,2 / 92,0	112,1	169,2	$\frac{1}{20,7}$	
	132,0 / 92,0	112,0	169,0	$\frac{1}{20,7}$	
	132,5 / 92,0	112,2	169,3	$\frac{1}{20,7}$	
	Moyennes......		174,3	$\frac{1}{20,1}$	

9. *Résultats et conséquences.* — Après l'exécution de ces expériences, on a fait enlever la boue et les détritus, on a relevé des profils transversaux des ornières, et l'on a remblayé les ornières, en notant avec soin la quantité de matériaux employés à cette réparation; on a trouvé les volumes suivants pour les trois pistes :

	m. m.		kil.		mc.
Piste du chariot à 4 roues, des diamètres de	1,00 et 1,65	Chargé de	3 500	Matériaux employés à la réparation.	14,7
	1,30 et 2,00		4 201		12,4
	1,30 et 2,00		4 500		15,4

Je dois faire remarquer que, par la circonstance indiquée à la colonne d'observations du tableau, la piste du chariot à roues de $1^{m},00$ et $1^{m},65$, chargé de 3 500 kil. ayant été réduite à 90 mètres de longueur, le cube des matériaux réellement employés n'a été pour cette piste que de $11^{mc},02$, et que le chiffre $14^{mc},7$ a été calculé proportionnellement pour la longueur de 120 mètres.

En réunissant, pour en faciliter l'examen, le résultat des expériences sur le tirage du chariot à roues de $1^{m},00$ et $1^{m},65$ de diamètre et $0^{m},07$ de largeur de jantes, chargé de 3 500 kil. et ceux du remblayage après le transport d'environ 4 780 000 kil., on a le résumé suivant :

DÉSIGNATION DES PISTES ET VOITURES COMPARÉES.				RAPPORT DU TIRAGE À LA CHARGE, après le transport d'environ 4 200 000 k.	RAPPORT DU TIRAGE À LA CHARGE, après le transport d'environ 4 780 000 k.	MATÉRIAUX EMPLOYÉS.
	m. m.		kil.			mc.
Piste du chariot à roues des diamètres de	1,00 et 1,65	Chargé de	3 500	$\frac{1}{18,2}$	$\frac{1}{20,1}$	14,7
	1,30 et 2,00		4 201	$\frac{1}{21,5}$	$\frac{1}{22,3}$	12,4
	1,30 et 2,00		4 500	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{20,1}$	15,4

Ces résultats montrent que le chariot à roues de $1^{m},30$ et $2^{m},00$ de diamètre, pesant 4 201 kil., a fait moins de dégradations que les deux autres; que le tirage était le même sur les pistes de ceux-ci, après le transport d'environ 4 780 000 kil., mais que la quantité de matériaux employés à

la réparation des ornières du chariot à roues de 1m,30 et 2m,00 de diamètre, chargé de 4 500 kil. était un peu plus grande que celle qui avait été nécessaire pour la piste du chariot à roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre, chargé de 3 500 kil., d'où il suit que le chargement du premier de ces deux chariots devrait être réduit à environ 4 300 ou 4 400 kil. pour que les dégradations qu'il produirait fussent égales à celles du second, chargé de 3 500 kil. ou que les chargements de ces deux chariots devraient être réglés dans le rapport de 4 300 à 3 500 kil.

10. *Chargements d'égales dégradations en fonction du diamètre des charrettes.* — Des expériences analogues ont été exécutées pour déterminer les chargements d'égales dégradations des charrettes à roues de 0m,07 de largeur de bandes, et des diamètres de 1m,65 et de 2m,00. A cet effet, on a chargé l'une des charrettes à roues de 1m,65 de diamètre et 0m,07 de largeur de bandes, précédemment employées, du poids de 2 000 kil.; puis on a chargé deux autres charrettes à roues de même largeur de bandes et de 2m,00 de diamètre, l'une de 2 205 kil., l'autre de 2 510 kil., véhicules compris.

Sur la route départementale n° 132, allant de Courbevoie à Colombes, au delà des parties soumises aux précédentes expériences sur les largeurs de bandes, on a choisi trois pistes au même état d'entretien, n'offrant qu'un très-léger frayé. Ces pistes ont été arrosées abondamment, de manière à les entretenir constamment mouillées et boueuses.

Les expériences ont été commencées le 11 juin et terminées le 29 du même mois.

Des expériences sur la résistance au tirage éprouvée par le chariot à quatre roues de 1m,00 et 1m,65 de diamètre et 0m,07 de largeur de bandes, chargé de 3 500 kil., ont été faites le 22 juin après le transport d'environ 3 530 000 kil. sur chaque piste, et le 24 juin, après le passage d'environ 4 290 000 kil. sur chaque piste. Les résultats de ces expériences sont consignées au tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	[illegible]
			kil.	
Chariot à quatre roues de 1m,00 à 1m,65 de diamètre, pesant 3 500 k..	Piste de la charrette à roues de 1m,65 de diamètre, chargée de 2 001 kil.	1 764	3 528 000	Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour...
	Piste de la charrette à roues de 2m,00 de diamètre, chargée de 2 205 kil.	1 604	3 528 800	Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour...
	Piste de la charrette à roues de 2m,00 de diamètre, chargée de 2 510 kil.	1 414	3 535 000	Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour...
Même chariot.........	Piste de la charrette à roues de 1m,65 de diamètre, chargée de 2 001 kil.	2 142	4 284 000	Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour... Aller... Retour...

TESSE DE …NSPORT.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
m.	m.			k.		
0,82	100	111,0	94,2	170,5	1/20,6	Dynamomètre à compteur de 400 kil. F E = 181,05 N. Sur cette route très-sèche le tirage des mêmes charrettes est d'environ $\frac{1}{43}$ de la charge.
0,85		87,5				
0,82		107,0	96,0	173,8	1/20,2	
0,85		85,0				
0,86		110,0	96,0	173,8	1/20,2	
0,88		82,0				
		Moyennes.....		172,7	1/20,3	
1,10	100	74,8	92,5	167,5	1/20,9	
0,91		110,2				
1,09		71,0	86,5	156,6	1/22,4	
0,89		102,0				
1,06		66,0	84,0	152,1	1/23,0	
0,89		102,0				
1,05		63,4	87,2	157,9	1/22,2	
»		110,0				
		Moyennes.....		158,5	1/22,1	
0,84	100	104,0	111,0	201,0	1/17,4	
0,84		118,0				
0,85		105,0	108,2	195,9	1/17,9	
0,81		111,5				
0,83		106,0	107,5	194,6	1/18,0	
0,84		109,0				
		Moyennes.....		197,2	1/17,8	
1,15	104	144,8	127,6	222,1	1/15,8	Les premiers passages au commencement de chaque séance donnant presque toujours lieu à un tirage un peu plus grand que les suivants, la valeur moyenne du tirage a été prise sur les quatre derniers passages.
1,09		110,5				
1,06		125,7	113,8	198,1	1/17,7	
1,11		102,0				
1,02		117,0	106,7	185,5	1/18,9	
1,02		96,5				
1,03		117,6	110,5	192,4	1/18,2	
1,09		103,5				
1,08		120,0	110,5	192,4	1/18,2	
1,09		101,0				
		Moyennes.....		198,1	1/17,8	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SEN… MOUVEM…
Chariot à quatre roues de 1^{m},00 à 1^{m},65 de diamètre, pesant 3 500 kil.	Piste de la charrette à roues de 2^{m},00 de diamètre, chargée de 2 205 k.	1 954	4 300 000	Aller.…
				Retour..
				Aller …
				Retour…
				Aller ….
				Retour…
				Aller. …
				Retour…
				Aller. ….
				Retour….
				Aller. ….
				Retour…
	Piste de la charrette à roues de 2^{m},00 de diamètre, chargée de 2 510 k.	1 718	4 295 000	Aller. ….
				Retour…..
				Aller………
				Retour…
				Aller ….
				Retour…
				Aller. …
				Retour…
				Aller. ….
				Retour……
Charrette à roues de 1^{m},98 de diamètre, chargée de 2 227 kil………	Piste de la charrette à roues de 1^{m},65 de diamètre, chargée de 2 001 k.	2 142	4 284 000	Aller ….
				Retour….
				Aller. ….
				Retour…
				Aller. …
				Retour…
				Aller. ….
				Retour….

TESSE DE NSPORT.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE À LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
m.	m.			k		
1,21	100	90,3	107,3	194,3	$\frac{1}{18,0}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE = 181,05 N.
1,19		124,3				
1,15		90,0	105,5	191,0	$\frac{1}{18,3}$	Les premiers passages au commencement de chaque séance donnant presque toujours lieu à un tirage un peu plus grand que les suivants, la valeur moyenne du tirage a été prise sur les quatre derniers passages.
1,13		121,0				
1,14		83,0	99,0	179,2	$\frac{1}{19,5}$	
1,18		115,0				
1,16		77,5	94,9	171,8	$\frac{1}{20,4}$	
1,11		112,0				
1,15		71,0	89,7	162,4	$\frac{1}{21,6}$	
1,09		108,5				
1,14		69,5	94,0	170,2	$\frac{1}{20,6}$	
1,14		116,5				
		Moyennes......		178,1	$\frac{1}{19,7}$	
1,09	100	141,0	135,9	246,0	$\frac{1}{14,2}$	
1,11		130,8				
1,13		123,8	128,6	232,8	$\frac{1}{15,0}$	Même observation. La moyenne est prise sur les trois derniers passages.
1,22		133,5				
1,05		122,0	124,0	224,5	$\frac{1}{15,6}$	
1,01		126,0				
1,07		118,0	121,5	220,0	$\frac{1}{15,9}$	
1,06		125,0				
1,11		112,5	116,7	211,3	$\frac{1}{16,6}$	
1,07		121,0				
		Moyennes......		226,9	$\frac{1}{15,5}$	
0.83	104	56,0	48,9	107,6	$\frac{1}{20,7}$	
0,91		41,8				
0,95		53.9	48,5	106,8	$\frac{1}{20,9}$	
0,95		44,0				
0,95		51,5	49,7	109,4	$\frac{1}{20,4}$	Dynamomètre à compteur de 400 kil. FE = 228,95 N.
0,91		48,0				
0,91		49,7	48,8	107,4	$\frac{1}{20,7}$	
»		48,0				
		Moyennes......		107,8	$\frac{1}{20,7}$	

11. *Résultats et conséquences.* — Après l'execution de ces expériences, on a fait enlever la boue et les détritus, on a relevé des profils transversaux et l'on a remblayé les ornières, en tenant note exacte des volumes des matériaux employés et de ceux des détritus enlevés, que l'on avait pu rassembler en tas. Cette opération a donné les résultats suivants :

	m.		k.		mc.		mc.
Piste de la charrette à roues du diamètre de	1,65	Chargée de	2 001	Matériaux employés à la réparation.	11,40	Détritus enlevés.	4,76
	2,00		2 205		7,50		2,86
	2,00		2 510		10,80		4,65

En consignant ici le volume des détritus enlevés, je dois faire la même réserve qu'au n° 8.

En réunissant, pour en faciliter l'examen, les résultats des expériences sur le tirage et ceux du remblayage, après un transport de 4 290 000 kilog. environ, on a le résumé suivant :

DÉSIGNATION DES PISTES ET VOITURES COMPARÉES.				RAPPORT DU TIRAGE A LA CHARGE APRÈS LE TRANSPORT D'UN POIDS DE 3 530 000 k. (avec le chariot à roues de 1m,00 et 1m,65)	4 290 000 k. (avec le chariot à roues de 1m,00 et 1m,65)	4 290 000 k. avec la charrette à roues de 1m,65.	MATÉRIAUX employés à la réparation.
	m.		kil.				mc.
Piste de la charrette à roues du diamètre de	1,65	chargée de	2 001	$\frac{1}{20,3}$	$\frac{1}{18,2}$	$\frac{1}{20,6}$	11,40
	2,00		2 205	$\frac{1}{22,2}$	$\frac{1}{20,5}$	$\frac{1}{24,6}$	7, 50
	2,00		2 510	$\frac{1}{17,8}$	$\frac{1}{16,0}$	$\frac{1}{20,5}$	10, 80

Ces résultats montrent que les dégradations produites par la charrette à roues de $2^{m},00$, chargée de 2 205 kil., ont été beaucoup moindres que celles des deux autres voitures entre lesquelles il y a peu de différence, tant sous le rapport du tirage que sous celui du volume des matériaux employés. D'où l'on peut conclure que, si l'on permet un chargement de 2 000 kil. sur une charrette à roues de $0^{m},07$ de largeur de bande et $1^{m},65$ de diamètre, on pourra allouer aux charrettes à roues de même largeur et de $2^{m},00$ de diamètre, un chargement de 2 400 à 2 500 kil.

Les résultats des deux séries d'expériences sur l'influence des diamètres des roues sur les dégradations produites par les voitures, confirment d'une manière bien évidente l'exactitude des conclusions que j'avais établies dès 1838, dans mon premier Mémoire, par des considérations directes, et que j'avais déjà vérifiées par des expériences en 1839. Ils donnent de plus la mesure de cette influence, pour les routes en empierrement ordinaire, et lui assignent une importance si notable, qu'il devient indispensable d'introduire la dimension des diamètres dans l'établissement des tarifs de chargement. On remarquera même que les chargements de 2 000 et 2 500 kil. correspondant pour les charrettes aux diamètres de $1^m,65$ et de $2^m,00$, et ceux de 3 500 et 4 400 kil. correspondant respectivement pour les chariots aux diamètres de $1^m,00$ et $1^m,30$ à l'avant-train, sont à très-peu près entre eux comme les diamètres. Cela vérifie la conclusion tirée, dès 1838, des expériences sur le tirage, et rapportée au n° 57 de la Ire Partie, et dans laquelle il est dit que « l'effort « exercé par une roue pour désagréger une route ou la détériorer, doit « être à peu près en raison inverse de son diamètre. » Il ne faudrait cependant pas étendre cette conséquence beaucoup au delà des circonstances dans lesquelles elle a été établie.

12. *Observations sur l'ensemble des résultats des expériences sur les chargements d'égales dégradations.* — Ayant ainsi déterminé par des expériences directes relatives aux dimensions des roues, que l'on peut regarder comme des limites supérieures et inférieures pour les voitures généralement employées dans l'industrie des transports les chargements d'égales dégradations, il faut chercher à en appliquer les résultats à la fixation des chargements qui pourraient être portés sur les différents genres de véhicules, pour produire sur les routes les mêmes dégradations.

Mais auparavant, observons que toutes les routes sur lesquelles les expériences ont été exécutées, sont en empierrement de cailloux siliceux de même nature, et que malgré quelques différences dans la fréquentation et dans la dureté de leur surface, elles présentent une assez grande similitude pour qu'on puisse, jusqu'à un certain point, comparer entre eux les effets produits sur chacune d'elles. La longueur commune de toutes les portions réparées des pistes était de 120^m, excepté pour la charrette à roues de $1^m,65$ de diamètre et $0^m,12$ de largeur des bandes, pour laquelle elle était de 150^m. Dans le tableau suivant on a réduit le cube de matériaux employés sur cette piste dans le rapport de 150 à 120 pour l'uniformité.

VOITURES EMPLOYÉES.	DIMENSIONS DES ROUES des voitures employées. Diamètre.	Largeur des bandes.	POIDS TRANSPORTÉ sur leur piste.	MATÉRIAUX EMPLOYÉS à la réparation sur 120 m. de longueur.	MATÉRIAUX qui eussent été employés pour un transport de 5 000 000 k. sur chaque piste.
	m. m.	m.	kil.	mc.	mc.
Chariots...	1,00 à 1,65	0,12	5 000 000	14,7	14,7
	1,30 à 2,00	0,07	4 780 000	14,7*	15,1
	m.				
Charrettes..	1,65	0,12	4 571 000	9,8	10,8
	1,65	0,07	4 290 000	11,4	13,3
	2,00	0,07	4 290 000	10,8	12,6

* Résultat moyen des expériences sur les chariots chargés de 4 201 kil. et de 4 500 kil.

Nota. On remarquera que la voiture à roues de $1^m,30$ à $2^m,00$ de diamètre avait circulé sur la route départementale, n° 31, en face la caserne de Courbevoie, un peu plus tendre que les autres.

La dernière colonne de ce tableau contient le cube des matériaux qui eût été consommé si, sur chaque piste, le poids total transporté eût été de 5 000 000 kilogr. On l'a calculé, en admettant que, dans les limites des expériences, ce volume devait être proportionnel au poids transporté pour chaque genre de véhicule.

De cette comparaison, à laquelle je ne veux pas attribuer une exactitude plus grande que celle qu'elle peut réellement avoir, il résulte que les chargements expérimentés pour les chariots ont occasionné à proportion plus de dégradations que ceux des charrettes, et que pour obtenir des dégradations égales de ces deux genres de véhicules, il faudrait réduire les chargements pris pour bases des expériences sur les chariots, et prendre pour point de départ des tarifs de chargements des chariots à quatre roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ de diamètre, avec des largeurs de bandes de $0^m,12$ et $0^m,07$, les poids de 6000 kilogr. et 3 170 kilogr. qui sont entre eux dans le même rapport que les nombres 7 000 et 3 700 kilogr. déterminés au n° 6.

13. *Chargements d'égales dégradations pour les voitures à quatre et à six roues.* — Depuis quelques années on a cherché à introduire dans l'industrie des transports l'usage des voitures à six roues et à trains arti-

culés, dont les essieux de devant et de derrière mobiles autour d'une cheville ouvrière verticale sont liés l'un à l'autre par des tringles croisées, de sorte que, quand le train de devant tourne à droite, celui de derrière tourne à gauche, et que les deux essieux correspondants convergent l'un vers l'autre, ce qui augmente la facilité du tournant. L'essieu du milieu est fixé au corps de la voiture, et les trois essieux sont suspendus sur des ressorts dits à pincettes, simples ou doubles. Dans les premières voitures de ce genre, les six roues avaient le même diamètre; depuis, on en a construit qui ont de grandes roues au milieu.

14. *Observations sur les voitures à six roues et à trains articulés.* — Dans l'origine, on a attribué à ce genre de véhicules des avantages exagérés, et l'on a cru que l'augmentation du nombre des roues devait dans tous les cas diminuer considérablement le tirage. Les expériences rapportées dans la première partie, et dans lesquelles on a fait transporter un même poids de 6 000 kil. sur un et sur deux chariots à six roues, c'est-à-dire sur six ou sur douze roues, sur une route en assez mauvais état, offrant des ornières, ont montré que dans les deux cas le rapport du tirage à la pression était le même. Le poids des véhicules étant compris dans la charge de 6 000 kil. transportés, il résulte de ces expériences qu'il y a plus d'avantages pour l'industrie, à placer cette charge sur une seule voiture que sur deux, puisqu'on gagne ainsi, pour le poids utile transporté, celui d'un des véhicules ou tout ou moins une portion de ce poids. Les expériences faites sur la route en empierrement de Courbevoie à Bezons, très-sèche (13e et 14e série, p. 82, Ire Partie) et sur le pavé de la rue de Colombes, dans Courbevoie (23e et 24e série, p. 86, Ire Partie), ont aussi montré qu'avec un même véhicule à roues égales, le tirage était exactement le même, soit que la voiture eût six roues ou qu'elle n'en eût que quatre. L'ensemble des autres expériences ayant prouvé, d'ailleurs, que sur les routes en empierrement solide et sur le pavé, la résistance au roulement est sensiblement proportionnelle à la pression, il s'ensuit, comme conséquence naturelle, que cette résistance doit être indépendante du nombre des roues.

Mais si dans l'état normal des routes en empierrement, lorsqu'elles sont unies ou n'offrent que des frayés, des ornières à fond ondulé et sur le pavé à l'état ordinaire, l'emploi de six roues au lieu de quatre ne diminue pas le tirage, il offre néanmoins quelques avantages, lorsque la route présente des inégalités très-prononcées, des trous, des ruisseaux transversaux profonds, etc. Dans tous les cas pareils, en effet, les roues

qui se trouvent au-dessus de ces cavités, peuvent y descendre plus ou moins par le débandement des ressorts du train correspondant, sans que les chevaux soient par conséquent obligés d'exercer un effort considérable pour les soulever. Cette disposition a donc pour effet de diminuer, dans les cas accidentels de ce genre, les efforts considérables que la puissance motrice doit développer; mais l'amélioration graduelle et notable de l'état des routes tendra de plus en plus à atténuer l'avantage de ce genre de voiture, dont la construction compliquée présente des inconvénients.

L'un des plus graves, c'est d'obliger à employer, au moins au train de devant et à celui de derrière, des roues d'un petit diamètre, ce qui augmente le tirage. Il est vrai que pour les dernières voitures de roulage de ce genre que l'on a construites, on a employé au train du milieu des roues d'un grand diamètre; mais pour les voitures de messageries, il paraît difficile d'en faire autant sans gêner beaucoup l'entrée des voyageurs.

Il faut aussi remarquer que les deux trains extérieurs tournant en sens contraire, lorsque les roues sont engagées dans des ornières profondes et qu'on veut les en faire sortir, celles de devant tendent à monter d'un côté et celles de derrière de l'autre côté sur le bord de l'ornière, et qu'alors il en résulte des efforts de traction et de flexion considérables sur les tringles et sur les essieux, et une grande résistance à vaincre par le moteur.

En résumé, je ne pense pas que cette disposition offre pour la facilité de la traction tous les avantages qu'on s'en est promis, et qu'on ne puisse en obtenir d'équivalents avec des voitures à quatre roues bien proportionnées.

Mais sous le rapport de la répartition de la charge totale sur la route, il est évident que l'usage de six points d'appui, au lieu de quatre, diminuant notablement la pression sur chaque partie de la route, ce genre de véhicule doit être favorable à la conservation des routes, et que, toutes choses égales d'ailleurs, il doit produire moins de dégradations. Il paraît donc rationnel de lui accorder des chargements plus forts à même largeur de jantes, qu'aux voitures à quatre roues, et alors, comme le poids des véhicules n'est pas augmenté par l'addition d'un train dans un rapport aussi grand que la charge pourrait sans doute l'être, il s'ensuit qu'en définitive, le rapport du poids utile de marchandises transportées au poids total ou brut peut être notablement plus grand avec les voitures à six roues

qu'avec celles à quatre roues, d'où peut résulter un avantage commercial très-notable. Tout dépend ici des proportions relatives des chargements, des roues, des dimensions requises par les conditions de solidité, et c'est pour reconnaître quels peuvent être, dans les proportions adoptées jusqu'ici, les chargements d'égales dégradations des chariots ordinaires et des chariots à six roues, qu'ont été entreprises les expériences suivantes.

15. *Chargements d'égales dégradations des chariots de roulage à quatre roues non suspendus et des chariots à six roues suspendus, allant au pas.* — On a pris pour terme de comparaison un chariot de roulage accéléré ordinaire suspendu, mais dont on a calé les ressorts pour en faire un chariot non suspendu, un chariot suspendu à six roues égales et un chariot suspendu à six roues, dont deux grandes à l'essieu du milieu. Les dimensions des roues, les poids des véhicules et leurs charges sont indiqués ci-dessous.

DÉSIGNATION DE LA VOITURE.	NOMBRE DE ROUES.	LARGEUR DES BANDES.	DIAMÈTRE DES ROUES			POIDS DU VÉHICULE.	POIDS TOTAL AVEC LA CHARGE.
			de devant. $2r'$.	du milieu. $2r'''$.	de derrière $2r''$.		
		m.	m.	m.	m.	k.	k.
Chariot ordinaire de roulage....	4	0,105	0,811	»	1,416	1 600	4 100
Chariots à trains articulés......	6	0,097	1,046	1,046	1,046	1 650	6 182
			1,038	1,524	1,038	1 780	6 144

Ces trois voitures ont été conduites sur la route en empierrement de gravier siliceux, allant de Courbevoie à Asnières, sur la rive gauche de la Seine, en bon état d'entretien, fort égale et homogène dans sa construction. On a choisi trois portions de 140^{m} de longueur chacune, aussi exactement que possible au même état à l'origine des expériences, et l'on a procédé comme par le passé à l'observation des effets de dégradation produits par le transport d'un même poids de matières. Des expériences sur l'intensité du tirage ont été faites avec les différents véhicules sur chaque point, et elles ont donné les résultats consignés au tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SE[illegible] MOUVE[illegible]
Voiture à six roues, dont deux grandes au milieu, pesant 6 150 kil.	Partie libre de la route en bon état, couverte de boue liquide.....	»	» kil.	Aller...... Retour.... Aller..... Retour..... Aller...... Retour..... Aller...... Retour.....
Même voiture........	Piste du chariot non suspendu, à quatre roues, pesant 4 100 kil., ornières remplies d'eau et de boue.........	1 034	4 239 400	Aller....... Retour...... Aller....... Retour...... Aller....... Retour...... Aller....... Retour......
Même voiture........	Piste du chariot à six roues égales, pesant 6 150 kil., ornières remplies de boue et d'eau.............	688	4 231 200	Aller....... Retour....... Aller....... Retour....... Aller....... Retour....... Aller....... Retour.......

…SSE … …PORT.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
»	m. 250	98,0	104,0	kil. 243,6	$\frac{1}{25{,}2}$	FE = 623,4 N.
	250	110,0				
16	250	104,5	107,7	252,9	$\frac{1}{24{,}3}$	
22	250	111,0				
37	250	102,0	107,0	251,1	$\frac{1}{24{,}5}$	
34	250	112,0				
»	250	96,0	101,3	236,9	$\frac{1}{25{,}9}$	
»	250	106,5				
		Moyennes...		246,1	$\frac{1}{25{,}0}$	
»	120	76,0	67,5	335,0	$\frac{1}{18{,}3}$	La vitesse était celle du pas de 1m à 1m,20 en 1".
»	120	59,0				
»	120	72,0	63,0	311,6	$\frac{1}{19{,}7}$	
»	120	54,0				
»	120	69,0	60,7	299,6	$\frac{1}{20{,}5}$	
»	120	52,5				
»	120	67,5	60,3	297,6	$\frac{1}{20{,}6}$	
»	120	53,2				
		Moyennes...		310,9	$\frac{1}{19{,}8}$	
»	120	77,0	77,7	388,0	$\frac{1}{15{,}8}$	
0,88	120	78,5				
1,00	120	72,0	70,7	351,6	$\frac{1}{17{,}5}$	
0,95	120	69,5				
1,01	120	70,0	68,5	340,2	$\frac{1}{18{,}1}$	
0,82	120	67,0				
»	120	69,0	67,5	335,0	$\frac{1}{18{,}3}$	
»	120	66,0				
		Moyennes...		353,7	$\frac{1}{17{,}4}$	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.
Même voiture........	Piste de la voiture à six roues, dont deux grandes, pesant 6 150 kil., ornières remplies de boue et d'eau.......	692	kil. 4 255 800	Aller.... Retour.... Aller..... Retour..... Aller..... Retour..... Aller........ Retour.....
Chariot à quatre roues, non suspendu, pesant 4,100 kil...........	Sur sa piste, ornières remplies de boue et d'eau...............	1 034	4 239 400	Aller.......... Retour........ Aller..... Retour..... Aller........ Retour..... Aller........ Retour.....
Même voiture........	Piste de la voiture à six roues égales, ornières remplies de boue et d'eau..............	688	4 231 200	Aller........ Retour........ Aller. .... Retour......... Aller..... Retour...... Aller.......... Retour.. ......

SSE … PORT.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
m.	m.			kil.		
	120	60,0	59,5	293,4	$\frac{1}{20,9}$	
11	120	59,0				
03	120	63,0	61,5	303,8	$\frac{1}{20,2}$	
04	120	60,0				
85	120	60,0	57,0	280,4	$\frac{1}{21,9}$	
91	120	54,0				
»	120	63,0	59,7	294,4	$\frac{1}{20,9}$	
»	120	56,5				
		Moyennes...		293,0	$\frac{1}{21,0}$	
,86	120	47	52,0	273,0	$\frac{1}{15,0}$	F E = 665,36 N.
,89	120	57				
,91	120	42,5	51,2	268,6	$\frac{1}{15,3}$	
,86	120	60,0				
,89	120	34,7	43,1	223,7	$\frac{1}{18,4}$	
,92	120	51,5				
,91	120	37,0	43,5	225,9	$\frac{1}{18,2}$	
,91	120	50,0				
		Moyennes...		247,8	$\frac{1}{16,7}$	
,89	120	48,0	50,5	264,7	$\frac{1}{15,5}$	
,83	120	53,0				
,86	120	45,0	50,5	264,7	$\frac{1}{15,5}$	
,89	120	56,0				
,89	120	42,0	47,0	245,3	$\frac{1}{16,7}$	
,91	120	52,0				
,96	120	44,0	47,0	245,3	$\frac{1}{16,7}$	
,92	120	50,0				
		Moyennes...		255,0	$\frac{1}{16,1}$	

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SEN … MOUVE…
Même voiture........	Piste de la voiture à six roues, dont deux grandes, ornières remplies de boue et d'eau.....	692	kil. 4 255 800	Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....
Même voiture.........	Partie libre de la route couverte de boue liquide.............	»	»	Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....
				Aller.....
				Retour.....

…ESSE DE …SPORT.	DISTANCE PARCOURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
m. ,91	m. 120	52,0	49,2	kil. 257,5	$\frac{1}{15,9}$	
,91	120	46,5				
,86	120	47,5	47,0	245,3	$\frac{1}{16,7}$	
,92	120	46,5				
,92	120	46,5	46,7	243,6	$\frac{1}{16,9}$	
,92	120	47,0				
,91	120	43,0	43,7	227,0	$\frac{1}{18,1}$	
,96	120	44,5				
		Moyennes…		243,3	$\frac{1}{16,9}$	
1,19	250	76,5	80,5	198,9	$\frac{1}{20,7}$	
1,25	250	84,5				
1,13	250	71,0	78,0	192,2	$\frac{1}{21,4}$	
1,11	250	85,0				
1,11	250	68,0	79,0	194,9	$\frac{1}{21,1}$	
1,19	250	90,0				
1,19	250	70,0	78,7	194,1	$\frac{1}{21,2}$	
1,14	250	87,5				
		Moyennes…		195,0	$\frac{1}{21,1}$	

16. *Résultats et conséquences.* — Après l'exécution de ces expériences, on a fait enlever la boue et les détritus, on a relevé des profils transversaux, et l'on a remblayé les ornières, en notant avec soin la quantité de matériaux employés à cette réparation. On a trouvé les résultats suivants :

		mc.
Piste du chariot à quatre roues, chargé de.......	4 100 kil.	10,9
Piste de la voiture à six roues égales...........	6 150 kil.	12,7
Piste de la voiture à six roues dont deux grandes...	6 150 kil.	10,3

En réunissant, pour en faciliter l'examen, les résultats moyens des expériences sur le tirage et ceux du remblayage, on a le résumé suivant :

DÉSIGNATION DES PISTES ET DES VOITURES COMPARÉES.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ.	RAPPORT DU TIRAGE A LA CHARGE avec le chariot à quatre roues.	avec le chariot à six roues, dont deux grandes.	MATÉRIAUX employés A LA RÉPARATION.
Piste du chariot à quatre roues, chargé de 4 100 kil	kil. 4 239 400	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{19,8}$	mc. 10,9
Piste du chariot à six roues égales, chargé de 6 150 kil.............	4 231 200	$\frac{1}{16,0}$	$\frac{1}{17,4}$	12,7
Piste du chariot à six roues, dont deux grandes, chargé de 6 150 kil......	4 255 800	$\frac{1}{16,9}$	$\frac{1}{21,0}$	10,3
Partie libre de la route couverte de boue liquide...................	»	$\frac{1}{21,0}$	$\frac{1}{25,0}$	»

On voit donc que le chariot à six roues égales a donné lieu à un accroissement de tirage un peu plus fort, et surtout à un emploi de matériaux notablement plus grand que les deux autres véhicules, ce qui confirme encore, s'il en était besoin, ce qui a été dit et reconnu précédemment, relativement à l'influence des petites roues sur les dégradations. Les deux autres véhicules ayant donné lieu à une augmentation de tirage et à une consommation de matériaux à peu près les mêmes, on doit en conclure qu'à largeur de bandes égales, on peut permettre aux voitures suspendues, à six roues égales, dont deux grandes, dans les proportions soumises à l'expérience, un chargement égal à une fois et demie celui des chariots non suspendus allant au pas, mais que la même latitude ne pourrait être accordée aux chariots de six roues égales, à moins que les diamètres n'en

soient augmentés notablement. Ces conséquences sont d'accord aussi avec ce que l'on a conclu dès 1839, des avantages de la division des chargements pour la conservation des routes.

17. *Chargements d'égales dégradations des chariots suspendus à quatre et à six roues allant au trot.*—Des expériences analogues ont été faites sur le prolongement de la même route, pour s'assurer si l'on pourrait conserver pour les voitures suspendues allant au trot, le même rapport entre les chargements, par rapport au nombre de roues. Mais on en a écarté le chariot à six roues égales, qui avait été reconnu plus nuisible aux routes que les deux autres.

A cet effet, le chariot à quatre roues suspendu a été chargé de 3 000 kil. et le chariot suspendu à six roues, dont deux grandes, de 4 500 kil., véhicule compris. Ces deux voitures ont été conduites au grand trot de 14 kilomètres à l'heure environ, leurs pistes ont été entretenues complétement mouillées et boueuses, et après le passage de plus de 4 100 000 kil., on a fait sur l'intensité du tirage les expériences dont les résultats sont consignés au tableau suivant :

VOITURE EMPLOYÉE.	PORTION DE LA ROUTE PARCOURUE.	NOMBRE DE PASSAGES des voitures sur leurs pistes.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ sur chaque piste.	SENS DU MOUVEMENT.	VITE… m TRAJE…
Chariot suspendu à quatre roues, chargé de 3 000 k.........	Sur sa piste, ornières remplies de boue et d'eau............	1 378	4 134 000	Aller	m. 0,97
				Retour......	0,96
				Aller	0,95
				Retour......	1,00
				Aller.	1,02
				Retour......	1,03
				Aller	1,03
				Retour......	1,00
				Aller	1,04
				Retour......	1,07
Même voiture....	Piste de la voiture à 6 roues, dont 2 grandes, ornières pleines de boue et d'eau...	914	4 113 000	Aller	0,97
				Retour......	1,03
				Aller	1,02
				Retour......	1,04
				Aller.	1,01
				Retour......	1,02
				Aller........	1,04
				Retour.	1,03
				Aller.	1,01
				Retour.	1,02

TANCE COURUE.	NOMBRE DE TOURS DE LA ROULETTE DU COMPTEUR.		RÉSISTANCE MOYENNE PAR MÈTRE COURANT.	RAPPORT DE LA RÉSISTANCE A LA CHARGE.	DIMENSIONS ET FORMULES EMPLOYÉES.
m. 120	61,7	61,6	kil. 189,0	$\frac{1}{21,7}$	
120	61,5				
120	53,5	60,7	186,0	$\frac{1}{22,0}$	
120	68,0				
120	59,3	62,3	191,3	$\frac{1}{21,4}$	FE = 397,99 N. Dynamomètre de 750 k.
120	65,2				
120	54,5	59,1	180,7	$\frac{1}{22,7}$	
120	63,8				
120	54,0	58,5	178,7	$\frac{1}{23,0}$	
120	63,0				
	Moyennes........		185,1	$\frac{1}{22,1}$	
120	63,5	65,2	200,9	$\frac{1}{20,4}$	
120	67,0				
120	61,5	63,5	195,3	$\frac{1}{21,0}$	
120	65,0				
120	56,0	60,4	185,0	$\frac{1}{22,1}$	
120	64,8				
120	54,5	58,2	177,7	$\frac{1}{23,0}$	
120	62,0				
120	53,8	57,0	173,7	$\frac{1}{23,0}$	
120	60,2				
	Moyennes........		186,5	$\frac{1}{22,0}$	

18. *Résultats et conséquences.* — Après l'exécution de ces expériences, on a fait enlever la boue et les détritus, on a relevé des profils transversaux et l'on a remblayé les ornières, en notant avec soin la quantité des matériaux employés à cette réparation ; on a trouvé les résultats suivants :

DÉSIGNATION DES PISTES.	MATÉRIAUX EMPLOYÉS.
	mc.
Piste du chariot à quatre roues, chargé de 3 000 kil..................	7,90
Piste du chariot à six roues, dont deux grandes, chargé de 4 500 kil.	7,38

En réunissant, pour en faciliter l'examen, les résultats moyens des expériences sur le tirage et ceux du remblayage, on a le résumé suivant :

DÉSIGNATION DES PISTES ET DES VOITURES COMPARÉES.	POIDS TOTAL TRANSPORTÉ.	RAPPORT DU TIRAGE A LA CHARGE.	MATÉRIAUX employés A LA RÉPARATION
Piste du chariot à quatre roues, chargé de 3 000 kil.	4 134 000	$\frac{1}{22,1}$	mc. 7,90
Piste du chariot à six roues, dont deux grandes, chargé de 4 500.....	4 113 000	$\frac{1}{22,0}$	7,38

On voit donc que l'accroissement du tirage et le volume de matériaux employés à la réparation ont été sensiblement les mêmes sur les deux pistes, et que, par conséquent, il y a lieu, au trot aussi bien qu'au pas, d'accorder aux voitures suspendues à six roues, dont deux grandes, et dans les proportions expérimentées, un chargement égal à une fois et demie celui qu'on allouera aux chariots suspendus à quatre roues.

La voiture à six roues, dont deux grandes, ne pesant que 1 780 kil., tandis que le chariot à quatre roues pèse 1 600 kil., on voit qu'il y aurait pour l'industrie un avantage considérable à employer des véhicules à six roues proportionnés de manière à ce qu'on pût les laisser jouir des avantages déterminés ci-dessus. Mais je dois dire néanmoins qu'ils ne seraient peut-être pas tout à fait aussi grands que les poids de ces véhicules

semblent l'indiquer, parce que je crois la voiture à six roues mise en expérience trop légèrement construite et moins solidement que le chariot à quatre roues. Néanmoins, il est certain qu'à solidité égale des véhicules, il resterait encore sur le poids utile transporté un excès très considérable en faveur du véhicule à six roues.

RECHERCHE DES TARIFS DE CHARGEMENTS, D'APRÈS LES RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.

19. Pour déduire des expériences directes faites sur les voitures à jantes de $0^m,12$ et $0^m,07$, regardées comme les limites extrêmes des dimensions à admettre, les chargements d'égales dégradations pour les voitures à roues des largeurs intermédiaires, on peut, sans crainte de s'éloigner notablement de la vérité, admettre que les chargements croissent de quantités égales pour des accroissements égaux de largeur. Les limites extrêmes $0^m,12$ et $0^m,07$ des largeurs sont en effet assez rapprochées pour que la véritable loi assujettie à satisfaire aux résultats de l'expérience pour ces deux limites, ne diffère que bien peu de cette loi approximative.

Cela revient à supposer que, si l'on prend les largeurs des jantes pour des abscisses et les chargements pour des ordonnées, la loi des chargements en fonction des largeurs sera représentée, dans les limites admises, par une ligne droite, menée par les extrémités des ordonnées, qui, à l'échelle, représentent les chargements des voitures à jantes de $0^m,12$ et de $0^m,07$.

Cette représentation graphique de la loi des chargements en fonction des largeurs des jantes est donnée *Pl. IV, Fig.* 1 et 2. Dans la première, relative aux chariots à quatre roues de $1^m,00$ sur le devant et de $1^m,65$ sur le derrière, la ligne AB indique les chargements correspondants aux différentes largeurs des jantes en supposant qu'on accorde 7 000 kil. sur des jantes de $0^m,12$ et de 3 700 kil. sur des jantes de $0^m,07$.

Bien que la loi de variation du chargement en fonction des largeurs des jantes représentée par ces droites ne soit qu'approximative, je la crois préférable à celle que l'on a introduite dans le projet de loi récemment présenté à la Chambre des Pairs, et dans lequel, tout en reconnaissant l'exactitude des expériences de 1839, qui ont démontré que les chargements ne devaient pas être proportionnels aux largeurs des jantes, on a cependant admis cette proportionnalité comme suffisamment exacte, dans les limites des largeurs de bandes de $0^m,12$ et de $0^m,07$. Le seul avantage de cette réglementation proportionnelle aux largeurs ne consiste réelle-

ment que dans la simplicité de l'énoncé et de la rédaction de la loi, car en définitive ce sont les chiffres seuls des chargements qui sont inscrits aux tarifs, et je ne vois pas pourquoi l'on a sacrifié en quelque sorte les faits à la facilité de la parole ou de la rédaction.

20. *Rappel de quelques conséquences principales des expériences.* — Mais avant d'aller plus loin il convient de se rappeler 1°. que la comparaison établie au n° 12 a fait voir que les chargements de 7 000 kil. et de 3 500 kil. portés sur des chariots à roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ de diamètre avec des largeurs respectives de bandes de $0^m,12$ et de $0^m,07$, bien que produisant des dégradations respectivement égales, étaient à proportion un peu plus forts que ceux qui avaient été mis en expérience avec les charrettes, d'où l'on a conclu la convenance de les réduire à 6 000 kil. et à 3 170 kil.; 2°. que les expériences sur l'influence des diamètres ont fait voir que les chargements pouvaient à dégradations égales croître de quantités notables avec les diamètres, ce qui, même en limitant ces chargements à 6 000 kil., doit conduire nécessairement à des chargements voisins de 7 000 kil. pour les chariots, et de 4 000 kil. pour les charrettes montés sur les roues des plus grands diamètres; 3°. enfin que les expériences de 1839 sur les chariots de roulage ordinaire, les charrettes et les chariots comtois ont conduit à conclure que, dans l'intérêt de la conservation des routes, la charge de chaque train ou de chaque charrette devait être au plus de 3 500 à 4 000 kil.

De l'ensemble de ces observations il me semble résulter qu'il convient de prendre pour point de départ les chargements de 6 000 kil. pour les chariots à roues du diamètre de $1^m,00$ et $1^m,65$, et de 3 500 kil. pour les charrettes à roues de $1^m,65$ de diamètre avec la largeur de bande de $0^m,12$, la plus grande qu'il soit nécessaire d'exiger dans la pratique.

C'est ce qui a conduit à tracer la ligne CD, *Fig.* 1, *Pl. IV*, qui représente la loi des chargements en fonction des largeurs des bandes, en prenant pour base ceux de 6 000 kil. et de 3 170 kil. sur des jantes de $0^m,12$ et de $0^m,07$ respectivement, avec des diamètres de $1^m,00$ et de $1^m,65$.

Dans la *Fig.* 2, *Pl. IV*, relative aux charrettes à roues de $1^m,65$ de diamètre, la ligne EF, correspondante aux chargements de 3 500 kil. sur $0^m,12$ de largeur de jantes et de 2 000 kil. sur $0^m,07$, représente la série des chargements de ces voitures pour les différentes largeurs.

21. *Chargements des voitures des plus petits diamètres en fonction des largeurs des bandes.* — D'après ces bases, on peut déjà calculer un tableau des chargements d'égales dégradations d'après les largeurs des bandes

pour les chariots à quatre roues de $1^m,00$ de diamètre à l'avant-train et de $1^m,65$ au train de derrière et pour les charrettes à roues de $1^m,65$ de diamètre, voitures que l'on doit regarder comme ayant les roues des plus petits diamètres qu'il convienne d'admettre à l'avenir dans le roulage, tant dans l'intérêt de la conservation des routes que dans celui de l'industrie elle-même.

22. TABLEAU *des chargements en fonction de la largeur des bandes de roues pour les plus petits diamètres.*

LARGEUR des bandes.	CHARIOTS à roues de $1^m,00$ à l'avant-train, et de $1^m,65$ au train de derrière.	CHARRETTES à roues de $1^m,65$ de diamètre.	OBSERVATIONS.
m.	kil.	kil.	
0,12	6 000	3 500	
0,11	5 434	3 200	
0,10	4 868	2 900	
0,09	4 302	2 600	
0,08	3 736	2 300	
0,07	3 170	2 000	

Les nombres contenus dans ce tableau ne sont pas proportionnels aux largeurs des jantes, mais procèdent par différences égales pour des accroissements égaux des largeurs et peuvent d'ailleurs être représentés par les formules simples :

Chariots à quatre roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ de diamètre....... } $C = 3\ 170\ \text{kil.} + 141\ 5\ (n - 28.)$ kil.

Charrettes à roues de $1^m,65$ de diamètre............. .... } $C = 2\ 000\ \text{kil.} + 150\ (n - 14.)$ kil.

dans lesquelles C représente le chargement en kilogrammes et n le nombre total de centimètres de largeur des quatre ou des deux roues de la voiture.

Il est inutile de dire, sans doute, que, dans la rédaction définitive des tarifs, il serait puéril de conserver dans les nombres précédents les unités et par fois les dizaines que je n'ai données que pour l'accord des résultats du tracé et du calcul.

23. *Recherches des diamètres correspondants des roues de devant et de derrière.* — Avant de chercher à appliquer les résultats des expériences sur les chargements d'égales dégradations, par rapport aux diamètres, il faut tâcher d'établir avec un degré d'approximation suffisant les dimensions

que l'on peut regarder comme correspondantes pour les diamètres des roues de devant et de derrière des chariots et autres voitures à quatre roues.

A cet effet, je remarquerai d'abord que les diamètres de $1^{m},00$ à l'avant-train et de $1^{m},65$ au train de derrière sont dans les limites des proportions déjà en usage pour les chariots. Pour l'exécution des expériences dont il a été rendu compte plus haut, j'ai adopté les diamètres de $1^{m},30$ à l'avant-train et de $2^{m},00$ au train de derrière. La dernière dimension n'a rien d'exagéré ni de contraire aux usages, puisque beaucoup de charrettes sont munies de roues de $2^{m},00$ environ, sans qu'on trouve leur chargement trop élevé. Mais le diamètre de $1^{m},30$ pourrait peut-être paraître un peu fort pour des voitures qui, bien que spécialement destinées au service des routes, doivent néanmoins pouvoir circuler dans les villes. Je ne crois pas cependant cette dimension gênante, et je me fonde pour cela sur l'usage des voitures d'agriculture adoptées en Flandre et surtout en Angleterre. A Londres, pour le service intérieur de la ville, pour le transport journalier du charbon, depuis le port, situé dans la Cité, dans tous les quartiers de la ville, on emploie généralement des chariots à quatre roues dont celles de devant ont $1^{m},30$ de diamètre, sans que pour cela ces voitures soient génées dans leur circulation à travers les rues étroites de la Cité. Il n'y a donc aucune difficulté réelle pour le roulage à adopter ce diamètre, et je pense qu'il est bon de l'introduire dans les dimensions indiquées aux tarifs.

Cela posé, et admettant les dimensions simultanées de $1^{m},00$ et $1^{m},65$, $1^{m},30$ et $2^{m},00$ pour les diamètres des roues des avant-trains et des arrière-trains, on peut, sans crainte d'erreur notable et d'aucune difficulté de construction, supposer qu'en partant du diamètre de $1^{m},65$, ceux des roues de derrière croissent de quantités proportionnelles aux accroissements des diamètres des roues de devant. De sorte que, si l'on prend les diamètres des roues de devant pour abscisses et ceux des roues de derrière pour ordonnées, la relation des diamètres des deux trains sera encore représentée approximativement par une ligne droite, menée par les deux points qui auraient respectivement pour abscisses $1^{m},00$ et $1^{m},30$, et pour ordonnées $1^{m},65$ et $2^{m},00$, ainsi que le montre la *Fig.* 3, *Pl. IV*.

De cette règle et de cette figure on déduit les dimensions suivantes :

		m.	m.	m.	m.	m.	m	m.	m.	m.
Diamètre des roues....	de devant.	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30
	de derrière	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,00

ce qui revient à la relation

$$D = 1\ 53^{c} + 1{,}175\,(d - 90).$$

dans laquelle D représente, en centimètres, le diamètre des roues de derrière et *d* celui des roues de devant. J'ai étendu cette table aux diamètres des roues de devant, de $0^m,90$ et de $0^m,95$ pour le cas des voitures où des conditions spéciales de service ne permettraient pas d'atteindre le diamètre de $1^m,00$ de l'avant-train.

24. *Accroissement des chargements en fonction des diamètres.* — Maintenant, ayant déterminé par les expériences directes rapportées plus haut les chargements d'égales dégradations pour des chariots à roues de $0^m,07$ de largeur, avec des diamètres respectifs de $1^m,00$ et $1^m,65$, et de $1^m,30$ et $2^m,00$, ainsi que pour des charrettes à roues de $0^m,07$ de largeur de bandes, et des diamètres respectifs de $1^m,65$ et $2^m,00$, on peut calculer, avec l'approximation désirable, les chargements correspondants aux autres largeurs et diamètres donnés.

On est d'abord porté à admettre que les effets de dégradation par déplacement, sur lesquels la grandeur du diamètre des roues exerce particulièrement son influence, sont, pour les différentes largeurs, proportionnels aux chargements ; et que, si, par exemple, en passant, pour les charrettes à roues de $0^m,07$ de largeur de bande, du diamètre de $1^m,65$ à celui de $2^m,00$, on peut augmenter le chargement de 2 000 à 2 500 kil., ou de $\frac{1}{4}$ de celui qui correspond au plus petit diamètre, on pourrait de même augmenter le chargement des charrettes à roues de $0^m,12$ de largeur de bande et $1^m,65$ de diamètre, trouvé précédemment égal à 3 500 kilog., de $\frac{1}{4}$ de sa valeur, pour avoir celui des charrettes à roues de même largeur, sur $2^m,00$ de diamètre, ce qui donnerait 4 375 kil. J'avais d'abord adopté cette base dans une première note remise à M. le sous-secrétaire d'État du ministère des travaux publics, et calculé en conséquence des projets de tarifs de chargements (1).

Mais, en y réfléchissant plus mûrement, il m'a semblé que, bien que sur un sol homogène, ou même sur une route composée de matériaux d'égales dimensions, la quantité de ces matériaux que la roue tend à pousser devant elle soit plus grande à mesure que la jante augmente de

(1) En calculant les chargements des voitures à roues d'un grand diamètre, dans l'hypothèse de la proportionnalité des dégradations aux chargements à tous diamètres, on serait conduit aux tarifs suivants établis, le premier, pour les voitures à quatre roues, sur la base des charges de 6 000 kil. et 3 170 kil. portées sur des roues de $0^m,12$ et $0^m,07$ de largeurs respectives et des diamètres de $1^m,00$ à l'avant-train, et $1^m,65$ au train de

largeur et que la gradation des chargements, par rapport aux diamètres, doive suivre une certaine proportion croissante avec les chargements, il y avait lieu d'apporter des restrictions à l'application de cette conséquence.

Remarquons, en effet, d'abord que l'avantage des roues à grands diamètres est surtout sensible dans le cas où le véhicule rencontre des matériaux isolés par désagrégation ou par l'effet d'un emploi récent, et dépend plutôt de la dimension absolue du diamètre que de la pression elle-même; attendu que l'effet qui tend à faire glisser une pierre en avant de la roue (*Voir* n° 56, Ire Partie) et le frottement qui s'oppose à ce glissement sont tous les deux, sinon exactement, du moins à peu près proportionnels à la charge du train, et que par conséquent l'excès relatif de l'un sur l'autre ou leur rapport est indépendant de cette pression et ne tient presque exclusivement qu'à la grandeur du diamètre, et devrait, sous ce point de vue, donner lieu à un accroissement de chargement à

---

derrière, et le second pour les charrettes sur celle du poids de 3 500 kil. et 2 000 kil. pour des roues de $0^m,12$ et $0^m,07$ de largeur de bandes respectives, et $0^m,65$ de diamètre.

TARIF *des chargements des voitures, d'après les diamètres des roues et les largeurs des bandes.*

DIAMÈTRE DES ROUES de devant.	DIAMÈTRE DES ROUES de derrière.	LARGEUR DES BANDES. m. 0 07	m. 0 08	m. 0 07	m. 0 10	m. 0 11	m. 0 12
		Chariots à quatre roues.					
m.	m.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
0,90	1,53	2 927	3 450	3 973	4 497	5 020	5 543
1,00	1,65	3 170	3 736	4 302	4 868	5 434	6 000
1,10	1,77	3 413	4 022	4 631	5 239	5 848	6 457
1,20	1,89	3 657	4 308	4 959	5 611	6 262	6 913
1,30	2,00	3 900	4 594	5 288	5 982	6 676	7 370
		Charrettes à deux mains.					
1,65		2 000	2 300	2 600	2 900	3 200	3 500
1,75		2 143	2 464	2 786	3 107	3 429	3 749
1,85		2 286	2 629	2 972	3 314	3 657	3 997
1,95		2 428	2 793	3 158	3 522	3 886	4 246
2,00		2 500	2 874	3 248	3 622	3 996	4 370

Je crois ces chargements trop forts à proportion pour les grands diamètres, et ceux qui sont dans le texte bien suffisants pour tous les besoins de l'industrie.

peu près constant d'un diamètre à l'autre et indépendant de la pression. De sorte, en un mot, que si, par exemple, le chargement des charrettes de $0^m,07$ de largeur de bande doit être augmenté de 500 kil., en passant du diamètre de $1^m,65$ à celui de $2^m,00$ et porté à 2 500 kil., celui des charrettes à roues de $0^m,12$ de largeur de bande devrait être augmenté d'une quantité égale, en passant des roues de $1^m,65$ de diamètre à celles de $2^m,00$, et porté à 3 500 + 500 = 4 000 kil., tandis que par le premier mode indiqué on était conduit, pour les mêmes voitures, à accorder un chargement de 4 370 kil.

Je pense que la véritable proportion serait entre les deux précédentes ; mais si l'on se rappelle les énormes dégradations produites dans les expériences de 1839 (nos 48 et suivants de la 2e Partie) par une charrette à roues de $0^m,165$ de largeur de bande sur $1^m,83$ de diamètre, pesant 5 009 kil. et desquelles nous avons conclu que, dans l'intérêt de la conservation des routes, les charrettes ou chaque train de voiture à quatre roues ne devaient jamais être chargés de plus de 3 500 à 4 000 kil., on admettra sans doute qu'il convient d'adopter, par prudence, le second mode de proportion des chargements aux diamètres.

Enfin on doit observer que cette proportion qui, pour toutes les largeurs de bande, alloue aux chariots un accroissement de 4 300—3 000= 800 kil., en passant du diamètre de $1^m,00$ à $1^m,65$ à ceux de $1^m,30$ et $2^m,00$, et aux charrettes un accroissement de 2 500—2 000=500 kil., en passant du diamètre de $1^m,65$ à celui de $2^m,00$, présente encore, dans tous les cas, un avantage très-notable aux voitures à grandes roues, et que si cet avantage est à proportion plus sensible pour les voitures à bandes étroites, et pour lesquelles l'expérience directe l'a déterminé, il en résulterait naturellement une tendance à employer de préférence ces voitures qui sont plus légères, et par conséquent moins nuisibles aux routes sous le rapport de la rupture des matériaux.

25. *Chargements des voitures à roues des plus grands diamètres.* — C'est de cet ensemble de considérations que je conclus le tableau suivant, contenant les chargements des voitures à quatre roues de $1^m,30$ de diamètre à l'avant-train, et de $2^m,00$ au train de derrière, et des charrettes à roues de $2^m,00$ de diamètre pour les bandes de $0^m,12$ de largeur. Les chargements de ce tableau sont ceux du tableau du n° 22, augmentés de 800 kil. pour les chariots, et de 500 kil. pour les charrettes.

TABLEAU *des chargements des voitures à roues des grands diamètres, d'après les largeurs des jantes des roues.*

LARGEURS DES BANDES.	CHARIOTS à quatre roues de $1^m,30$ à l'avant-train, et $2^m,00$ à l'arrière.	CHARRETTES à roues de $2^m,00$ de diamètre.
m.	kil.	kil.
0,12	6 800	4 000
0,11	6 234	3 700
0,10	5 668	3 400
0,09	5 102	3 100
0,08	4 536	2 800
0,07	3 970	2 500

26. *Chargements des voitures à roues des diamètres intermédiaires.*— Après avoir réglé ainsi les chargements relatifs aux plus grands diamètres et aux plus petits, il est facile d'en faire autant pour tous les diamètres intermédiaires, avec un degré d'approximation convenable pour la pratique. Il suffit pour cela d'admettre que l'accroissement du chargement est constant pour une augmentation constante de diamètre, depuis les plus petits jusqu'aux plus grands; ou, si l'on opère par représentation graphique, on voit que si l'on prend les diamètres pour abscisses, et qu'on élève aux points correspondants aux diamètres de $1^m,00$ et $1^m,65$ et de $1^m,30$ et $2^m,00$ pour les chariots, *Fig.* 4, *Pl. IV,* et aux diamètres de $1^m,60$ et $2^m,00$, *Fig.* 5, des perpendiculaires ag et $a'g'$, sur lesquelles on porte respectivement de a en $b\ c\ d\ e\ f\ g$ et de a' en $b'\ c'\ d'\ e'\ f'\ g'$ les chargements relatifs aux jantes de $0^m,07$, $0^m,08$, $0^m,09$, $0^m,10$, $0^m,11$ et $0^m,12$ pour chaque genre de voiture et chaque tarif; puis, qu'on mène dans chaque figure les lignes aa', bb', cc', dd', ee', ff', gg', elles couperont les ordonnées élevées aux points de division de la ligne des abscisses, correspondants à chaque valeur des diamètres, en des points dont la distance à cette ligne donneront, à l'échelle, la valeur du chargement.

On voit que cette représentation graphique des tarifs aurait l'avantage de permettre de suite, à simple vue, de déterminer les chargements pour tous les diamètres et toutes les largeurs, si l'on voulait réglementer chaque véhicule d'après les dimensions mêmes de ses roues. Mais cette généralité est loin d'être nécessaire ni même utile, et il suffira certainement pour

tous les besoins de régler les chargements pour des largeurs variables de centimètres en centimètres, et pour des diamètres croissant de dix en dix centimètres.

27. *Chargements des voitures à quatre roues en fonction des diamètres et des largeurs des bandes des roues.*— C'est ce que j'ai fait dans les deux tableaux suivants, étendus à des diamètres plus petits que ceux que je voudrais voir exclusivement en usage, mais pour répondre à des exigences de construction et de service auxquelles il faudra bien céder dans quelques cas. J'ajouterai aussi que les diamètres des roues de derrière, déterminés par la règle du n° 23, et inscrits dans le tableau suivant, pourraient fort bien être un peu modifiés, si l'on jugeait nécessaire d'admettre d'autres proportions, pourvu que ceux de devant restassent classés de même. On remarquera, de plus, qu'en donnant les chargements correspondant à des diamètres croissant de cinq en cinq centimètres, je ne prétends pas qu'on doive introduire cette multiplicité de chiffres dans les tarifs, ce qui les compliquerait beaucoup trop, mais seulement faciliter l'intercalation de toutes les dimensions usuelles.

TABLEAU *des chargements des chariots à quatre roues, d'après les diamètres des roues et les largeurs de leurs bandes.*

DIAMÈTRES DES ROUES		LARGEUR DES BANDES.					
de devant.	de derrière.	0m,07	0m,08	0m,09	0m,10	0m,11	0m,12
m.	m.	k.	k.	k.	k.	k.	k.
0,90	1,53	2 903	3 469	4 035	4 601	5 167	5 733
0,95	1,59	3 037	3 603	4 169	4 735	5 301	5 867
1,00	1,65	3 170	3 736	4 302	4 868	5 434	6 000
1,05	1,71	3 303	3 869	4 435	5 001	5 567	6 133
1,10	1,77	3 437	4 003	4 569	5 135	5 701	6 267
1,15	1,83	3 570	4 136	4 702	5 268	5 834	6 400
1,20	1,89	3 703	4 269	4 835	5 401	5 967	6 533
1,25	1,95	3 837	4 403	4 969	5 535	6 101	6 667
1,30	2,00	3 970	4 536	5 102	5 668	6 234	6 800

Ce tarif est représenté par la formule suivante :

$$C = 3\,170 + 141,5\,(n - 28) + 26,67\,(d - 100),$$

dans laquelle on nomme :

C le chargement total en kilogrammes véhicule compris.

n le nombre total de centimètres de largeur des jantes des quatre roues.

d le diamètre des roues de devant en centimètres, en supposant celui des roues de derrière réglé par la formule

$$D = 153 + 1,175\,(d - 90) \text{ du n° 23.}$$

28. *Chargements des charrettes en fonction des diamètres et des largeurs des bandes des roues.* — En raisonnant de même on forme le tableau suivant pour les chargements des charrettes représenté *Fig.* 5, *Pl. IV.*

TARIF *des chargements des charrettes, d'après les diamètres et les largeurs des bandes de roues.*

DIAMÈTRES DES ROUES.	LARGEUR DES BANDES.					
	0m,07	0m,08	0m,09	0m,10	0m,11	0m,12
m.	k	k.	k.	k.	k.	k.
1,55	1 857	2 157	2 457	2 757	3 057	3 357
1,60	1 929	2 229	2 529	2 829	3 129	3 429
1,65	2 000	2 300	2 600	2 900	3 200	3 500
1,70	2 071	2 371	2 671	2 971	3 271	3 571
1,75	2 143	2 443	2 743	3 043	3 343	3 643
1,80	2 214	2 514	2 814	3 114	3 414	3 714
1,85	2 286	2 586	2 886	3 186	3 486	3 786
1,90	2 357	2 658	2 957	3 257	3 557	3 857
1,95	2 428	2 729	3 029	3 329	3 629	3 929
2,00	2 500	2 800	3 100	3 400	3 700	4 000

Ce tarif correspond à la formule suivante :

$$C = 2000 + 150\,(n - 14) + 14,3\,(D - 165).$$

On voit, d'après ces tableaux, que le chargement des chariots à quatre roues pourra atteindre 6 800 kil. Dans la répartition de ce poids total, il est à peu près certain que le train de derrière de ces voitures porterait au moins 3 800 à 4 000 kil. Or, nous avons conclu des expériences faites en 1839, n° 48, 2e Partie, et des dégradations produites par une charrette à roues de $0^{m},165$ de largeur, qu'il était à désirer, dans l'intérêt de la conservation des routes, que le chargement d'un seul train ne dépassât jamais 4 000 kil. On restera donc au-dessous, mais très-près de cette limite supérieure, en adoptant le tarif proposé pour les voitures à quatre roues.

Le chargement total de 6 000 kil. sur des roues de $1^{m},00$ et $1^{m},65$ de diamètre, et celui de 6 800 kil. sur des roues de $1^{m},30$ et $2^{m},00$, sont d'ailleurs bien suffisants pour les besoins de l'industrie des transports, et supérieurs de beaucoup à ceux qui étaient accordés par les projets de loi précédents, et qui ne s'élevaient dans celui de la Commission de la Chambre des Députés de 1838 qu'à 4 400 kil. pour les chariots à roues de $0^{m},12$ de largeur de bande. Il en est de même des chargements proposés pour les charrettes, et qui s'élèvent, dans le tarif précédent, à 3 500 et 4 000 kil. pour des roues de $0^{m}12$ de largeur et des diamètres respectifs de $1^{m},65$ à $2^{m},00$, tandis que pour cette largeur le même projet de 1838 n'accordait que 2 880 kil.

29. *Règle exprimée par les tracés et les formules.* — La représentation graphique des tarifs, *Pl. IV, Fig.* 4 et 5, exprime qu'à toutes largeurs de bande, en partant des chargements déterminés pour les plus petits diamètres des chariots ou des charrettes, et en passant à de plus grands diamètres, les chargements croîtront de quantités proportionnelles aux accroissements des diamètres.

Ainsi, par exemple, l'expérience ayant appris qu'avec la largeur de bande $0^{m},07$, on pouvait, à dégradations égales, laisser porter 4 300 kil. sur des chariots à roues de $1^{m},30$ et $2^{m},00$ de diamètre, et 3 500 kil. sur des chariots à roues de $1^{m},00$ et $1^{m},65$, la différence de ces chargements, égale à 800 kil., étant divisée par six ou par trois qui sont les nombres de fois que le nombre cinq ou le nombre dix sont contenus dans la différence trente centimètres des diamètres des roues de devant, donne respectivement 133 ou 266 kil. pour l'accroissement constant de chargement correspondant à une augmentation de cinq ou de dix centimètres dans le diamètre des roues de devant à toutes largeurs de bande.

De même pour les charrettes à roues de $0^{m},07$, l'expérience ayant montré que, si l'on portait sur des voitures à roues de $1^{m},65$ de diamètre un

chargement de 2 000 kil., on pouvait permettre 2 500 kil. sur des roues de 2m,00 de diamètre avec la même largeur de bandes, la différence de ces chargements, égale à 500 kil., étant divisée par sept ou par trois et demi, qui sont les nombres de fois que les nombres cinq ou dix sont contenus dans la différence trente-cinq des diamètres, donne respectivement pour quotient 143 ou 286 kil. pour l'accroissement constant de chargement correspondant à une augmentation de cinq ou de dix centimètres dans le diamètre des roues à toutes largeurs de bande.

30. *Observations sur les tarifs annexés au projet de loi présenté aux Chambres.* — Le projet de loi présenté aux Chambres, tout en reconnaissant positivement que les expériences de 1839 et de 1841 ont constaté l'avantage des roues d'un grand diamètre, sous le rapport de la diminution des dégradations, n'en a pas adopté les conséquences dans toute leur étendue, ni suivant la gradation que je crois la plus convenable. En effet, pour les charrettes il alloue aux petites largeurs 1 925 kil. aux plus petits diamètres et 2 100 kil. à ceux de 2m,00; différence, 175 kil. seulement, et aux grandes largeurs 3 300 kil. aux petits diamètres et 3 600 kil. aux grands, différence 300 kil., au lieu d'une différence constante de 500 kil. Je ferai remarquer d'abord que cette dernière différence trouvée par l'expérience a été obtenue pour les petites largeurs de bande de 0m,07, et que si l'on voulait se tenir au-dessous du chiffre de 500 kil. ainsi déterminé par l'observation, on pouvait au moins aller bien au delà du poids de 175 kil. qui ne dépasserait guère l'excès du poids des grandes roues sur les petites. — D'une autre part, et par les raisons que j'ai indiquées au n° 24, il ne me parait pas convenable d'accorder aux voitures à larges jantes une augmentation de chargement, par rapport aux diamètres, plus rapide qu'à celles qui ont des jantes étroites

De même pour les chariots, le tarif proposé avec la loi accorde 3 150 kil. aux petites largeurs de jantes avec les plus petits diamètres et 3 500 kil. avec les plus grands, différence, 250 kil., et aux grandes largeurs 5 400 kil. sur les petits diamètres et 6 000 kil. sur les grands; différence 600 kil., au lieu d'une augmentation constante de 800 kil. déduite des expériences faites avec des roues des plus petites largeurs. Il me semble encore qu'en restant, par prudence, au-dessous du chiffre conclu de l'expérience, il convenait d'allouer davantage aux chariots à roues étroites et autant, au moins, qu'à ceux qui ont des jantes larges.

Je ferai encore remarquer, relativement à la gradation adoptée dans les

tarifs proposés avec la loi, que la tendance générale de ces tarifs devant être de favoriser, de propager l'emploi des grands diamètres, il eût été utile de multiplier les nombres de l'échelle des diamètres, et, sans en introduire autant dans le tarif que je l'ai fait dans les tableaux précédents, de donner au moins trois dimensions telles que 1^m,00, 1^m,15 et 1^m,30 pour les diamètres des roues de devant; 1^m,50 à 1^m,60, 1^m,70 à 1^m,80, 1^m,90 à 2^m,00 pour ceux des roues de derrière des chariots et 1^m,60, 1^m,80, 2^m,00 pour ceux des roues des charrettes. Par là, en effet, on aurait rendu plus facile la transition graduelle des petits diamètres aux grands, tandis que le passage brusque adopté dans le tarif présenté ralentirait, je le crains, le progrès désiré. Enfin, le diamètre de 1^m,16, regardé comme le plus grand pour les roues de devant des chariots, est trop faible, puisque déjà beaucoup de chariots de roulage ont des roues de devant de 1^m,10, et qu'en Flandre et en Angleterre on en emploie de 1^m,25 à 1^m,30.

Quant à l'accroissement des chargements en fonction des largeurs des jantes, je ferai remarquer que, d'une part, les tarifs annexés au projet de loi accordent aux charrettes et chariots des petits diamètres et des petites largeurs des chargements, qui sont presque identiquement ceux que j'ai déduits de la discussion précédente; mais qu'aux largeurs de 0^m,12 ils n'allouent que 3 300 kil. aux charrettes, au lieu de 3 500 kil., et 5 400 kil. aux chariots, au lieu de 6 000 kil. Cette disposition ayant pour effet de favoriser les voitures à petits chargements encore plus que les tarifs que j'ai déduits de l'expérience, et de limiter la charge portée par un seul train à 3 500 kil. environ, je la crois très-favorable à la conservation des routes, et si les habitudes de l'industrie des transports peuvent s'y conformer, je n'y vois aucune objection.

31. *Chargements des voitures suspendues allant au trot.* — Les expériences de 1839 ayant complétement confirmé celles de 1838 pour prouver que, dans les limites ordinaires du trot et jusqu'à la vitesse de 12 à 14 kilom. à l'heure, les voitures suspendues allant au trot ne produisaient pas plus de dégradations que les voitures non suspendues allant au pas; il s'ensuit que, sous le rapport de la dégradation des routes, il n'y a pas lieu de restreindre les chargements des diligences, et autres voitures suspendues allant au trot, au-dessous de ceux qui sont accordés aux chariots non suspendus.

Cette conclusion est complétement adoptée pour les voitures à quatre roues, dans le projet de loi présenté aux Chambres, mais on ne l'a pas

appliquée aux voitures de messageries à deux roues, dont on a proposé de limiter le chargement à la moitié de celui des voitures suspendues à quatre roues, sans avoir égard à la grandeur du diamètre. Cette disposition a sans doute pour objet la sécurité des voyageurs.

32. *Voitures Comtoises.* — Il y a une classe de voitures fort employées et fort avantageusement combinées dans leurs proportions, qui ne sont pas comprises dans les tarifs précédents; ce sont les voitures à quatre roues, traînées par un seul cheval, et connues sous le nom générique de Comtoises. Pour les rattacher au système général des voitures à quatre roués, reportons-nous aux résultats d'expérience sur l'influence des largeurs des jantes, faites avec les chariots à quatre roues de $1^m,00$ et $1^m,65$ de diamètre, n° 22, et à la *Fig.* 1, *Pl. IV*, qui les représente; prolongeons la ligne droite CD qui donne les chargements que nous avons adoptés pour bases des tarifs de ces voitures, par rapport aux largeurs des jantes jusqu'à l'ordonnée correspondante à la largeur de $0^m,06$. Nous aurons ainsi, pour le chargement d'un chariot à bandes de cette largeur, avec des diamètres de $1^m,00$ et $1^m,65$, le poids total de 2 604 kil. véhicule compris. Or, les voitures Comtoises ont des roues de $0^m,06$ de largeur de bande, et de $1^m,25$ à $1^m,30$ de diamètre à l'avant-train, sur $1^m,35$ à $1^m,45$ au train de derrière, et ne pèsent pas plus de 1 800 kil. véhicule compris. Il est donc évident, par le résultat des expériences de 1841, aussi bien que par celles de 1839, dans lesquelles le transport de près de 7 000 000 kil. a produit des ornières qui n'ont exigé que $5^{mc},00$ de matériaux sur une longueur de 150^m, pour la réparation, sur la route de Courbevoie à Colombes, entretenue constamment mouillée et boueuse, qu'il ne serait ni juste ni rationnel d'imposer aucune entrave, aucune restriction à la libre circulation de ces voitures avec un seul cheval.

On a vu d'ailleurs (2e Partie, n° 48 et suivants) qu'en 1839 leur marche en convoi, dans les mêmes ornières, n'avait pas présenté les inconvénients qu'on lui attribuait, et la seule condition qui me semble devoir être imposée à leur emploi sur les routes et surtout dans les villes, c'est qu'il y ait un conducteur pour quatre ou cinq voitures, et que les convois semblables se tiennent à des distances de 100^m au moins les uns des autres, pour ne pas gêner la circulation.

33. *Diligences à deux chevaux.* — On voit aussi que, puisqu'un chariot non suspendu à quatre roues de $1^m,00$ à $1^m,65$ de diamètre et de $0^m,06$ de largeur de jante, pourrait porter 2 600 kil., on pourrait, sans inconvénient, laisser circuler sur les routes, sans restriction ni pesage, les

diligences suspendues, attelées de deux chevaux avec des roues de $0^m,95$ et $1^m,59$ de diamètre.

En terminant cette discussion de l'application des résultats des expériences à la loi sur la police du roulage, je crois devoir répéter que, si je crois les rapports établis entre les chargements et les dimensions des roues exacts et aussi voisins de la vérité qu'on peut l'espérer, je n'entends nullement préciser d'une manière absolue les chiffres des tarifs que j'ai proposés. J'ai voulu seulement indiquer dans quel sens, dans quel esprit on devait appliquer ces résultats, mais je n'ignore pas que des considérations de différents genres peuvent et doivent avoir de l'influence sur la rédaction des tarifs, et obliger le législateur à s'écarter des résultats immédiats de l'expérience.

---

produite par des tchouc?

PL. I.

ion des rouleaux

ur des rouleaux sur la

ion dans le caoutchouc

Fig. 10.

30 35 40 45 Kil.

30 35 40 45 Kil.

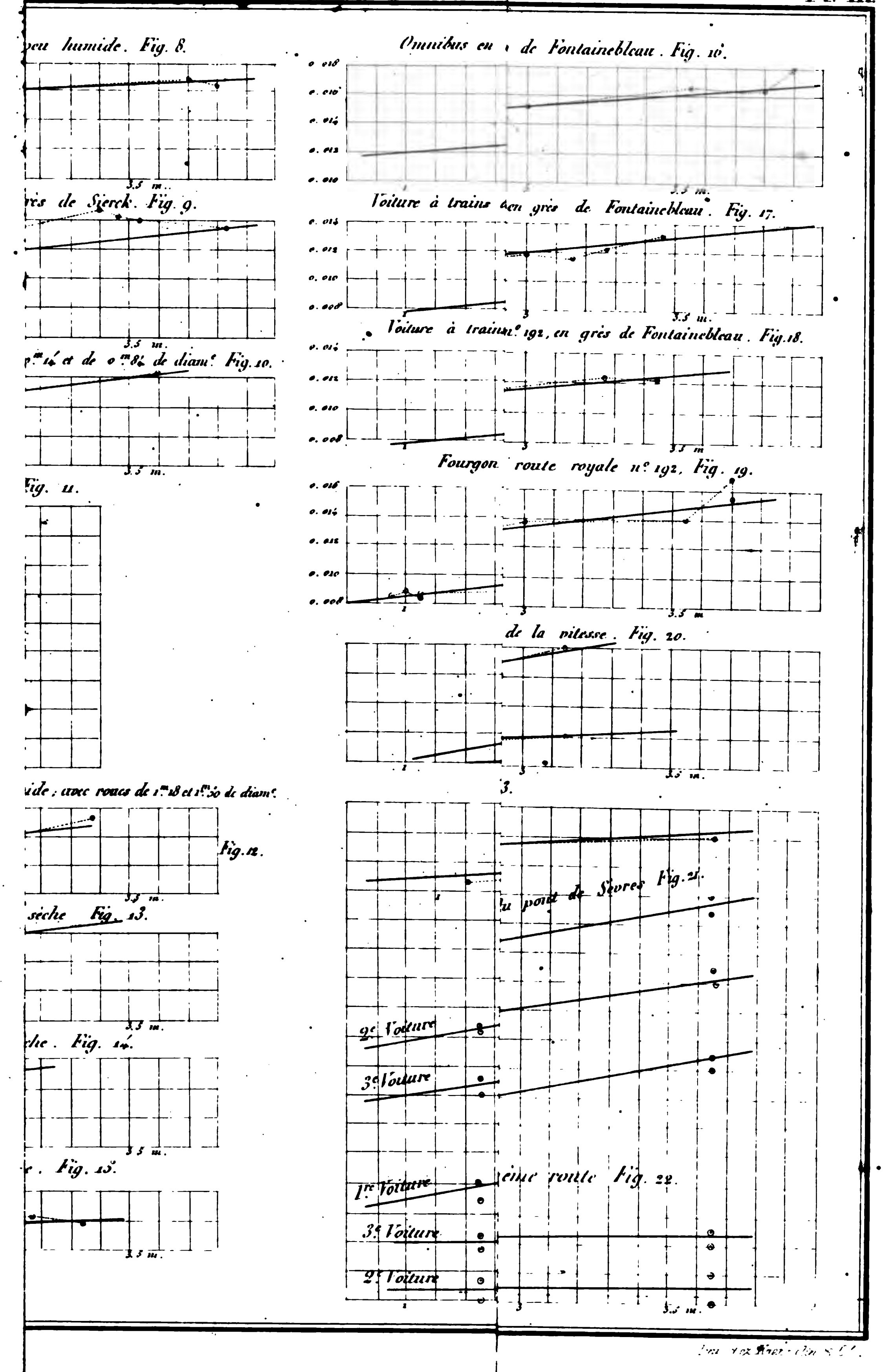
aux. — Echelle de gra

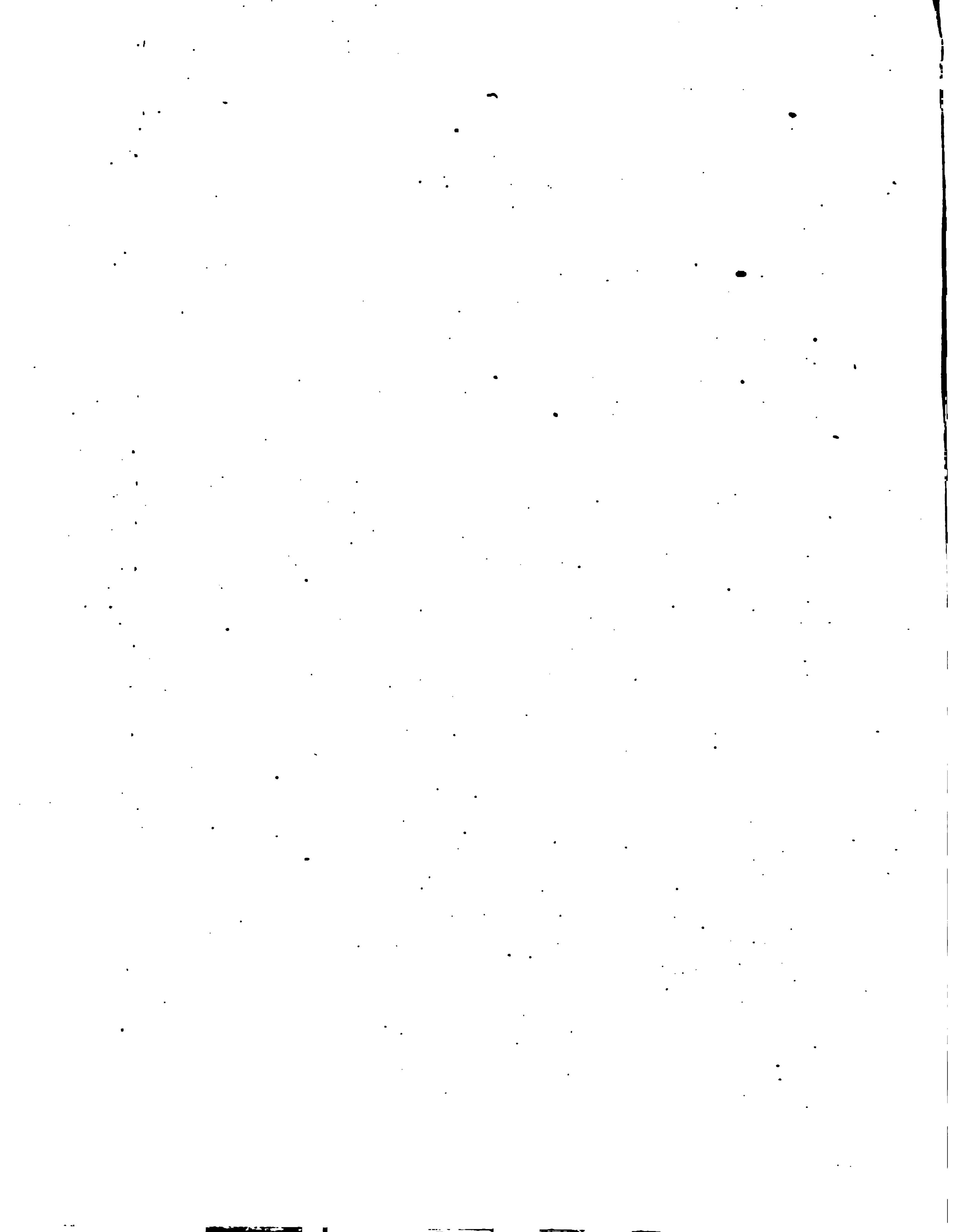
30 35 40 45 Kil.

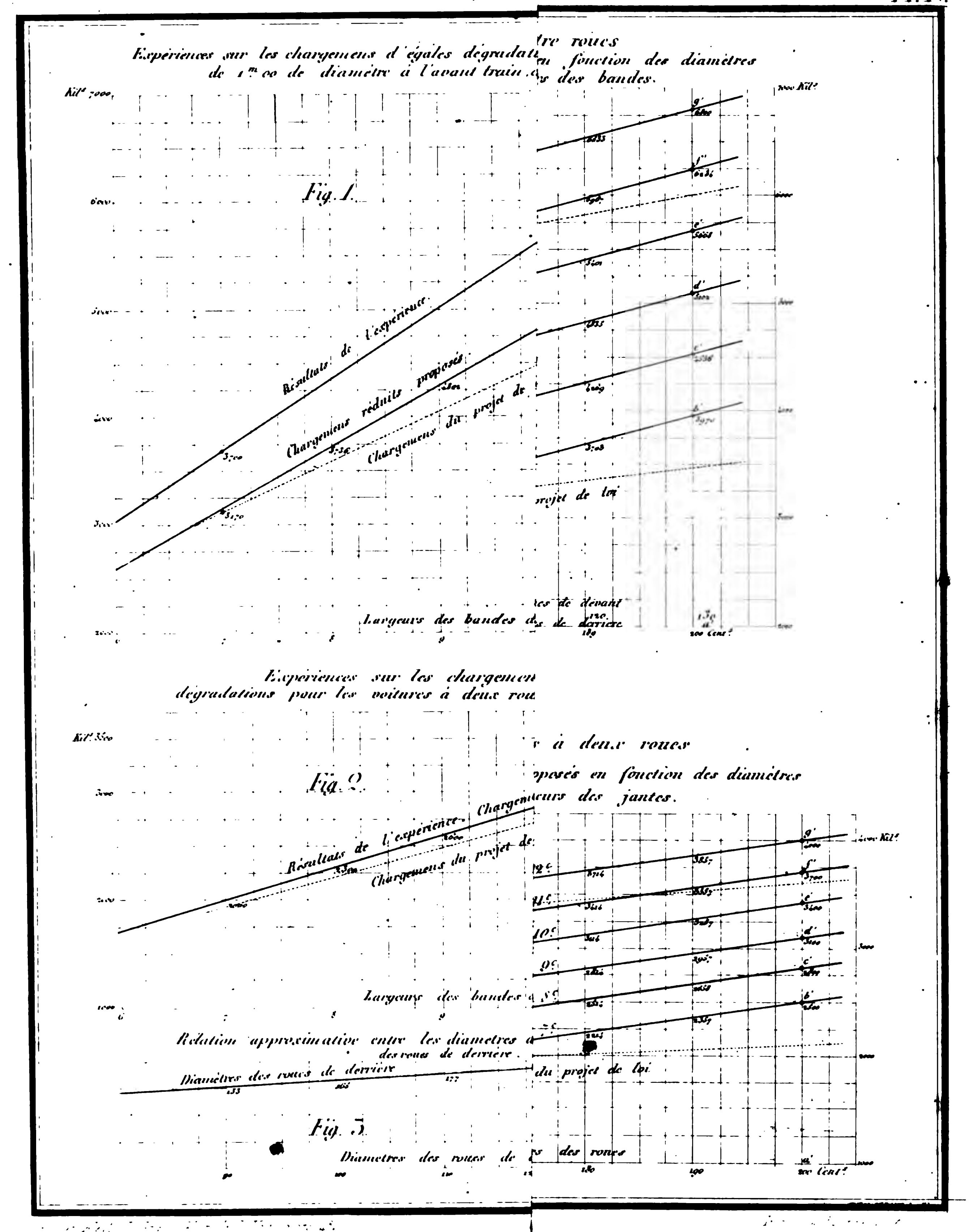
30 35 40 45 Kil.

Fig. 8.

30 35 40 45 Kil.


peu humide. Fig. 8.
Omnibus en de Fontainebleau. Fig. 16.
rès de Sierck. Fig. 9.
Voiture à trains en grès de Fontainebleau. Fig. 17.
Voiture à train n.° 192, en grès de Fontainebleau. Fig. 18.
Fourgon route royale n.° 192. Fig. 19.
Fig. 11.
de la vitesse. Fig. 20.
Fig. 12.
sèche Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
u pont de Sèvres Fig. 21.
2.e Voiture
3.e Voiture
1.re Voiture
3.e Voiture
2.e Voiture
Fig. 22.
3.5 m.




Expériences sur les chargemens d'égales dégradat... tre roues
de 1m 00 de diamètre à l'avant train ... n fonction des diamètres ... s des bandes.
Fig. 1.
Résultats de l'expérience
Chargemens réduits proposés
Chargemens du projet de ...
... projet de loi
Largeurs des bandes d... ... es de devant ... s de derrière
Expériences sur les chargemen...
dégradations pour les voitures à deux rou...
... à deux roues
... oposés en fonction des diamètres
... urs des jantes.
Fig. 2.
Résultats de l'expérience
Chargemens du projet de...
Largeurs des bandes
Relation approximative entre les diamètres d...
des roues de derrière
... du projet de loi
Diamètres des roues de derrière
Fig. 3.
Diamètres des roues de ... s des roues







